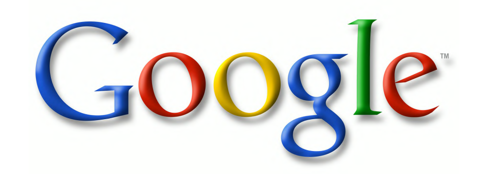
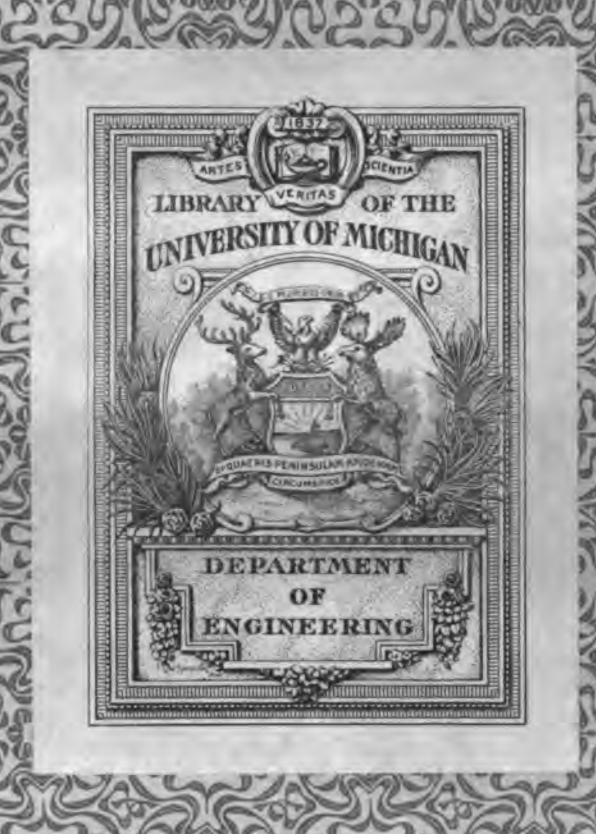
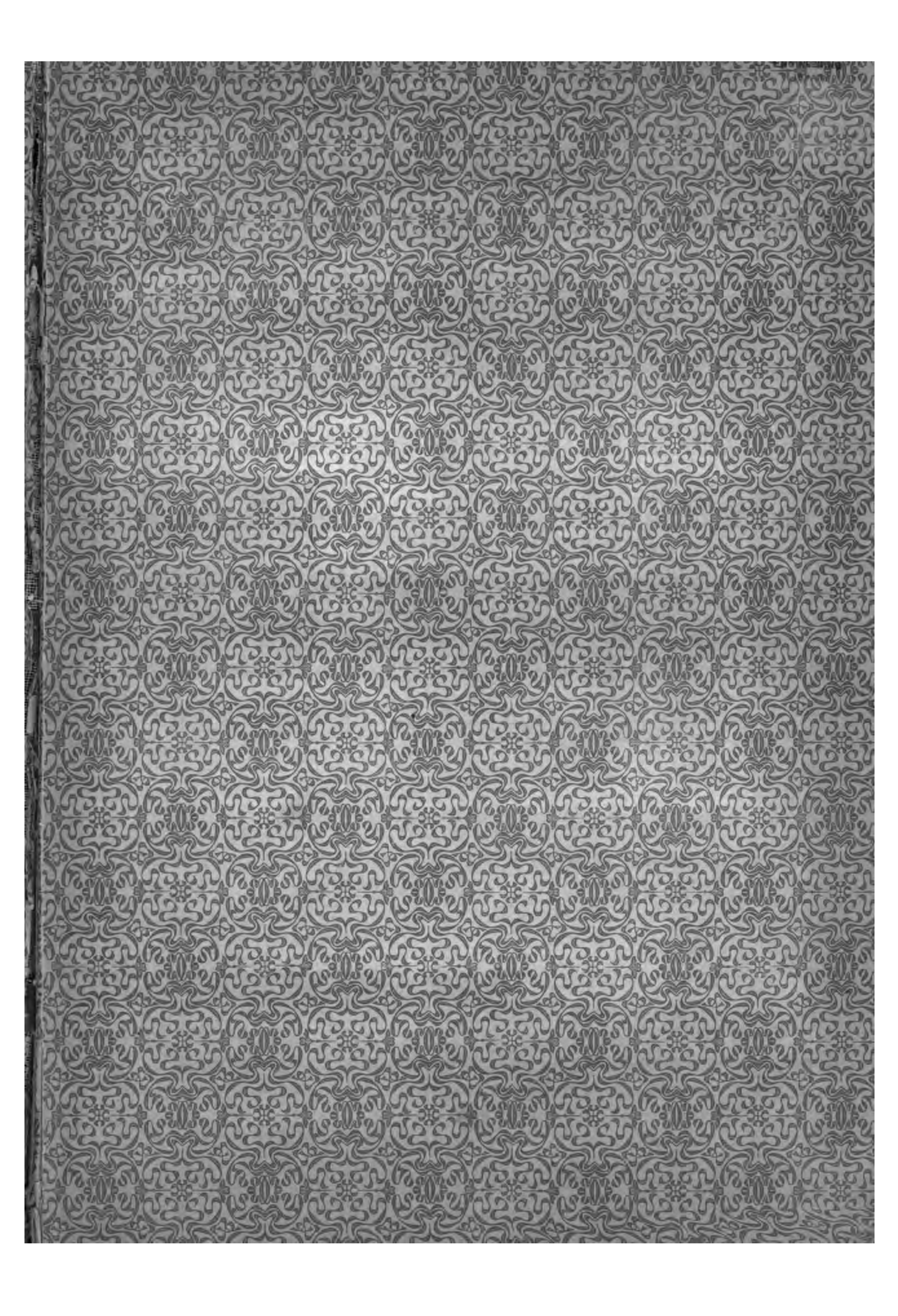

Google





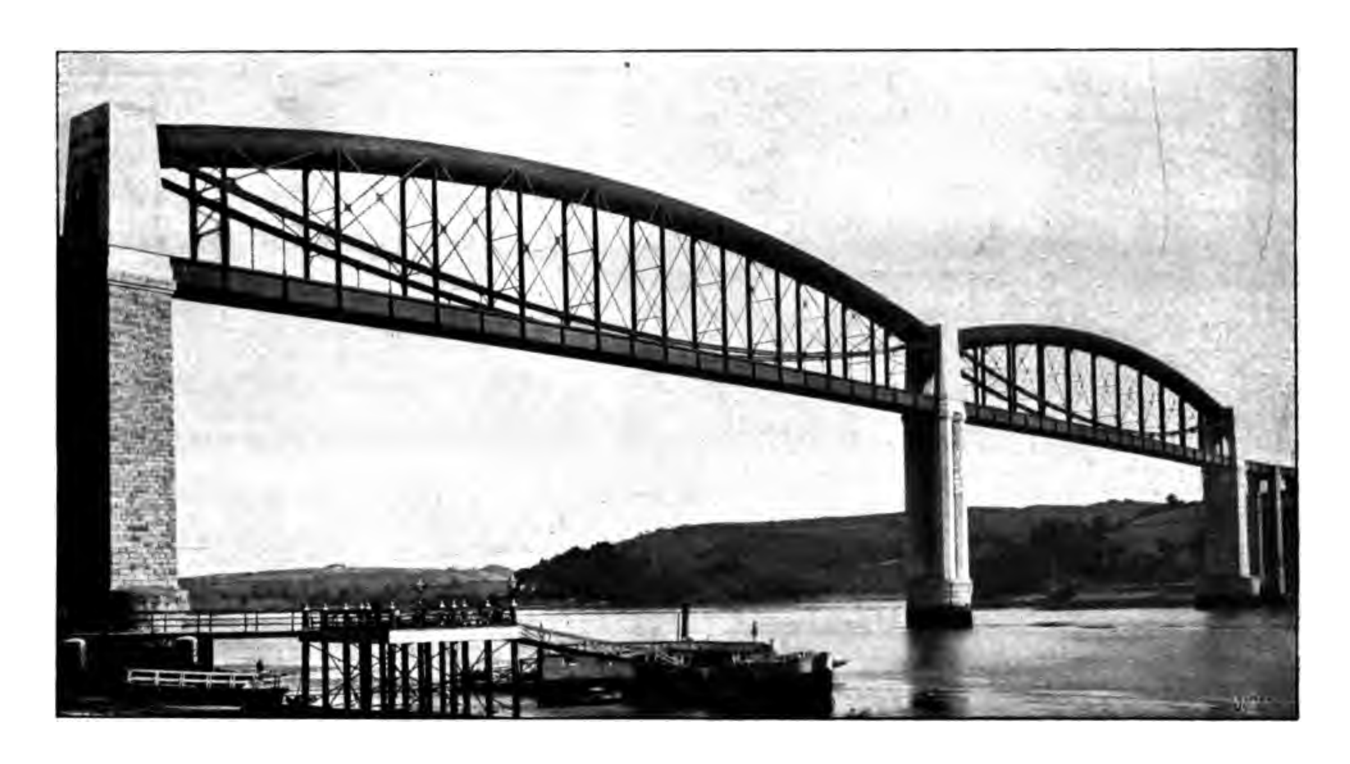
ARTES
SCIENTIA
VERITAS
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
DEPARTMENT
OF
ENGINEERING



Der Brückenbau sonst und jetzt.

Vortrag,
gehalten am 2. November 1897 im Technischen Verein zu Frankfurt a. M.

von
Prof. Mehrtens,
Regierungs- und Baurat in Dresden.



Saltash-Brücke über den Tamar bei Plymouth.

Sonder-Abdruck aus der Schweizerischen Bauzeitung 1898, Bd. XXXII Nr. 10, 11, 12, 13, 15 und 16.

ZÜRICH,
Verlag von Ed. Rascher, Meyer & Zeller's Nachfolger.
1899.

Der Brückenbau sonst und jetzt.

Vortrag[1]), gehalten am 2. November 1897 im Technischen Verein zu Frankfurt a. M. von Reg.- und Baurat Professor *Mehrtens* in Dresden.

I.

Meine Herren! Durch Ihren geehrten Vereinsvorstand haben Sie den Ruf an mich ergehen lassen, hier einen Vortrag zu halten. Dafür sage ich Ihnen zunächst herzlichen Dank. Indem ich dann der ehrenvollen Aufforderung folge, kann ich nicht verschweigen, dass das selbstgewählte Thema „Der Brückenbau sonst und jetzt“ mir einige Sorge bereitet hat. Der Brückenbau ist ja, wie Sie alle wissen, meine Herren, ein so umfassendes, weitverzweigtes Wissensgebiet, dass es gewagt erscheinen muss, ein Gesamtbild davon in den Rahmen eines kurzen Vortrages zu zwängen. Ich bin mir daher wohl bewusst, meine Herren, dass ich Ihnen in Wort und Bild nur Lückenhaftes bieten kann, bitte aber in Ansehung dieses Umstandes die Schwächen meiner Darstellung nachsichtig beurteilen zu wollen.

Meine Herren!

Den mächtigsten Einfluss auf die Kulturentwickelung der Menschheit übten, nach einem Ausspruche des englischen Geschichtsschreibers Macaulay, solche Erfindungen, die dazu dienen, die Entfernungen abzukürzen. Dieser Ausspruch enthält viel Wahrheit. Er beleuchtet besonders auch die hohe kulturelle Bedeutung der Verkehrswege, denn diese erscheinen als die Verkörperung einer grossen Summe von Erfindungen, deren Endzweck es ist, die Entfernungen abzukürzen. Ehe aber die Verkehrswege und die mit ihnen unzertrennlich verbundene Brückenbaukunst aus ihren Anfängen bis zur heutigen Vollendung gelangen konnten, mussten Jahrtausende vergehen; Erfindungen aller Art mussten Glied um Glied zu jenem mächtigen Ringe erwachsen, der die Grundfesten unseres heutigen Kulturgebäudes in Banden hält; Erfahrung auf Erfahrung musste sich zur Wissenschaft verdichten und in den Künsten musste die Wissenschaft allgemach die Theorie von der Praxis scheiden. So auch in der Kunst des Brückenbaues, die im 19. Jahrhundert, im Zeitalter des Eisens und der Eisenbahnen, des Dampfes und der Elektricität die grössten Erfolge dort erreicht, wo Theorie und Praxis eng zusammen gehen.



Fig. 1. Aquädukt von Tarragona.

Um Ihnen nun in grossen Zügen ein anschauliches Bild von der Brückenbaukunst der Gegenwart zu geben, will ich mich zuerst ein wenig zur Vergangenheit wenden. Denn erst durch die Betrachtung der Gegensätze zwischen sonst und jetzt erscheinen die gegenwärtigen Errungenschaften in rechtem Lichte.

Naturforscher und Archäologen belehren uns darüber, wie schon in vorgeschichtlicher Zeit der Naturmensch, natürliche Hindernisse überwindend, sich seine Pfade durch die Wildnis bahnte. Gerölle und aufgetürmte Steine, abgehauene Aeste und Baumstämme, mehr oder minder roh gefügt; Schlingpflanzen oder Pflanzenfasern zu Seilen verflochten von Baum zu Baum, von Ufer zu Ufer, eine Schlucht oder einen Wasserlauf überspannend: das waren die einfachen Brücken, die ihn sicher und ohne viel Umwege zum Ziele trugen. Zwischen diesen rohesten Anfängen der Brückenbaukunst und den hochentwickelten Leistungen des Altertums liegt eine gewaltige Kluft,

[1]) Für die Veröffentlichung des Vortrages in der Schweiz. Bauzeitung wurde der aus der «Zeitschr. für Architektur- und Ingenieurwesen» Nr. 1 Jahrg. 1898 wiedergegebene Text vom Verfasser ergänzt und mit einer grossen Anzahl neuer Abbildungen ausgestattet. Nicht alle vom Vortragenden vorgeführten Lichtbilder konnten zur Darstellung gelangen. Indessen sind die in geschichtlich-konstruktiver Beziehung hervorragenden Werke ziemlich vollständig vertreten. Die Red.

Dunkel vieler Jahrtausende, das uns die Geschichte bislang nur zum kleinsten Teile aufzuhellen vermochte.

Die Schriften der Griechen und Römer und die erhaltenen Ueberreste ihrer einstigen hohen Kultur lassen erkennen, dass die Alten eine Theorie des Brückenbaues nicht besassen, sie bauten nach rein empirischen Regeln. Um so bewunderungswürdiger erscheinen ihre den Jahrtausenden trotzenden Steinbauten der Gegenwart, der neben theoretischen Waffen auch noch eine Reihe von ausgiebigen mechanischen Hilfsmitteln zur Seite stehen, die das Altertum nicht kannte.

Ganz hervorragend war der Gewölbebau der Etrusker und Römer. Zahlreiche noch bestehende Reste altrömischer Strassen, Kanäle und Wasserleitungen, sowohl in Italien selbst, als namentlich auch in den vormaligen römischen Provinzen Spanien und Frankreich, bezeugen dies. Die Längen- und Höhenabmessungen römischer Aquädukte gehen oft ins Riesenhafte, wie die folgenden Aufnahmen einiger Ueberreste veranschaulichen.

Der Aquädukt von Tarragona, Puente de las Ferreras, stammt wahrscheinlich aus vorchristlicher Zeit; er ist zwei Stockwerke, im ganzen 30 *m* hoch, mit Bogenöffnungen von etwa 30 *m* Weite. (Fig. 1.)

Das kühnste, architektonisch vollendetste Bauwerk der Römer ist der *Pont du Gard bei Nimes* in Frankreich. Ein geradezu klassisches Meisterstück, erbaut unter dem Feldherrn Agrippa (63—13 v. Chr.). Es hat drei Stockwerke von zusammen etwa 49 *m* Höhe mit Bogenweiten von 24,5 *m*. (Fig. 2.)



Fig. 2. Pont du Gard bei Nimes.

Die Porta maggiore in Rom ist heute noch die Trägerin der *Aquädukte der Aqua Claudia und des Anio novus,* von Caligula angefangen, von Claudius (50 n. Chr.) beendet, und vom Papste Sixtus V. wiederhergestellt.



Fig. 3. Milvische Brücke, jetzt Pontemolle in Rom.

Die Römer waren übrigens nicht die Erfinder des Gewölbebaues. Sie waren nur Erben der orientalischen und griechischen Kunst, haben diese allerdings eigenartig weitergebildet. So sind auch die ersten grösseren Brücken,

von denen wir geschichtliche Kunde haben, unter den kunstfertigen Händen orientalischer und griechischer Baumeister entstanden. Glücklicher Weise, darf man wohl sagen, knüpfen sich an diese Bauwerke unvergessliche geschichtliche Erinnerungen, sonst wüssten wir heute wohl nichts mehr von ihnen, denn die Schriftsteller der Alten, namentlich die römischen Geschichtsschreiber, hielten technische und gewerbliche Dinge, als aus Sklavenhänden kommend, meist für zu untergeordnet, um sie ausdrücklicher Erwähnung zu würdigen.

Herodot[1]) und Diodor[2]) berichten ziemlich ausführlich über Brückenbauten der babylonisch-persischen Eroberer. Das älteste Bauwerk darunter ist die im 6. Jahrhundert v. Chr. von *Nebukadnezar* erbaute *Prachtbrücke* in *Babylon*. Sie führte neben der Königsburg, nahe den Weltwundern des babylonischen Turmes und der hängenden Gärten, über den etwa 600 *m* breiten Euphrat. Es war eine Brücke mit hölzernem Ueberbau auf Steinpfeilern. Die Pfeilergründung erfolgte ganz im Trockenen, indem man den Euphrat vorübergehend in ein künstlich vorbereitetes Bett leitete. Nach der Beschreibung Diodors — der übrigens ebenso wie Herodot den Bau der Brücke der sagenhaften Königin Semiramis zuschreibt — waren die Pfeiler stromaufwärts (ganz ähnlich wie es heute noch bei unsern Strombrücken Gebrauch ist) mit Vorköpfen versehen, die vorn in eine scharfe Kante ausliefen, um die Gewalt des tiefen und reissenden Stromes zu brechen. Der Ueberbau der Brücke bestand (nach Diodor) aus Cedern- und Cypressen-Balken und besass einen Belag aus ungewöhnlich grossen Palmenstämmen.

Den weltbewegenden geschichtlichen Ereignissen der Perserkriege verdanken wir Herodots Mitteilungen über die Kriegsbrücken des *Darius* und seines Nachfolgers *Xerxes*. Es waren dies *Schiffbrücken* mit hölzernen Ueberbauten, die mit Hilfe von Tauen und Ankern im Strome festgelegt wurden, also Bauwerke ganz ähnlicher Art, wie sie auch noch später bei den ersten Ueberbrückungen der europäischen Ströme bevorzugt wurden, ja, wie sie trotz ihrer grossen Unbequemlichkeit für einen regen Verkehr von Ufer zu Ufer auf vielen schiffbaren Strömen der Welt bis auf den heutigen Tag noch beibehalten werden.

[1]) 1. Buch 180.
[2]) 2. Buch 8.

Darius liess auf seinem Zuge gegen die Skythen (im Jahre 515 v. Chr.) zwei Schiffbrücken schlagen, die eine über den *Bosporus*, unter der Leitung des Baumeisters *Mandrokles* aus Samos, die andere in der Nähe der Mündungen der Donau durch jonisches Schiffsvolk. Herodot erzählt, wie Darius, hocherfreut über die guten Leistungen des Mandrokles, diesen mehr als zehnfach belohnte und dass Mandrokles einen Teil des goldenen Lohnes dazu verwendete, um für den berühmten Tempel der Juno in Samos, seiner Heimat, ein Gemälde von dem gesamten Brückenbau zu stiften, mit folgender Aufschrift:

«Da er des Bosporus Wasser bebrückt, hat der Meister des Werkes,
«Mandrokles, dieses Gedächtnisbild der Hera geweiht,
«Mit dem Kranze sich selbst, mit dem Ruhm die Samier schmückend,
«Da er den Willen des Grosskönigs Darius erfüllt.»[1])

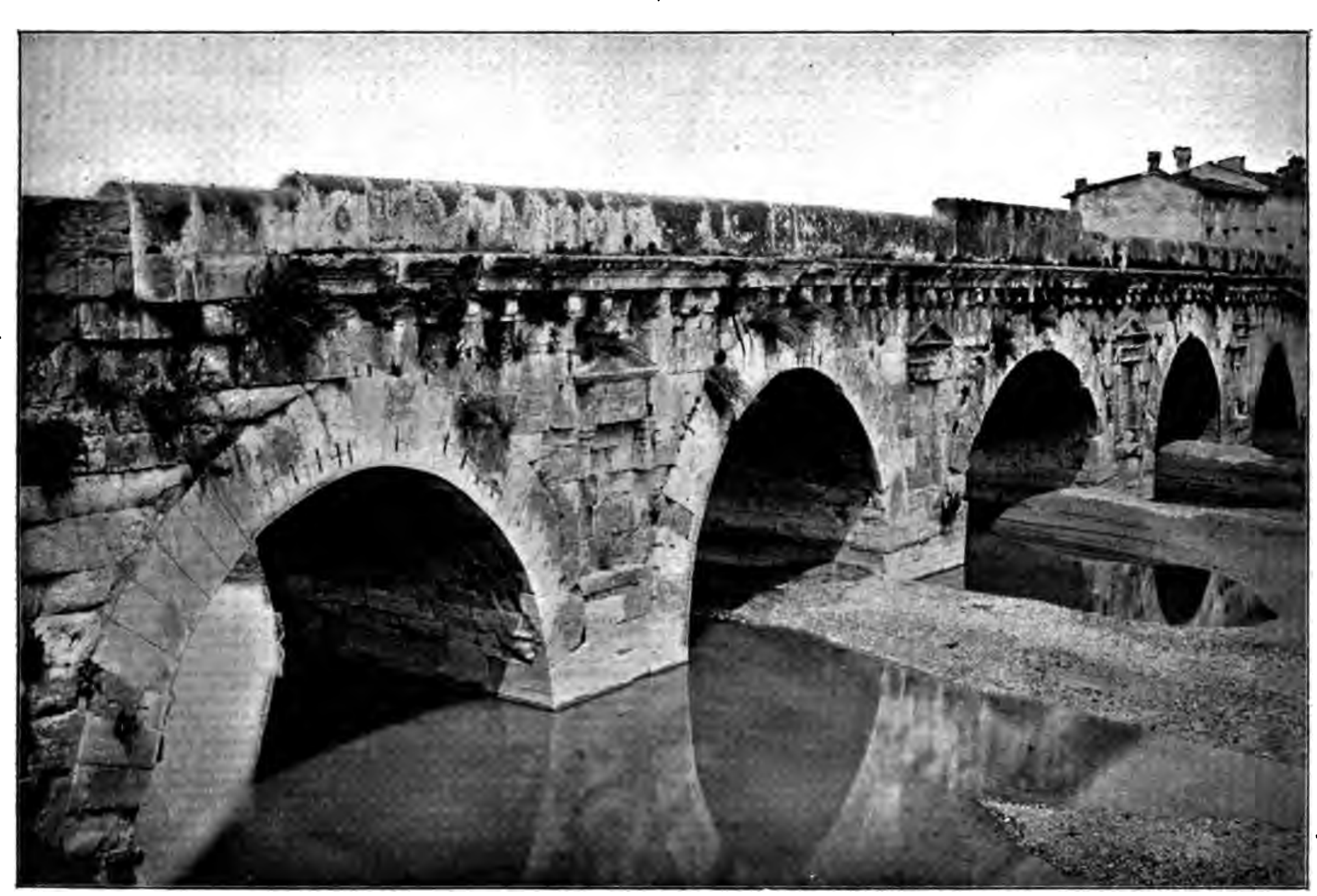
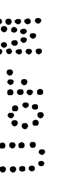


Fig. 4. Augustus-Brücke in Rimini.

Der Bau der Donaubrücke wäre dem Darius bekanntlich bald zum Verhängnis geworden, wenn nicht ihre Erbauer, die Jonier treu zu ihm gestanden und allen Einflüsterungen der Skythen und selbst dem Rate des Miltiades zum Trotz, die Brücke vor Zerstörung bewahrt hätten.

Weltbekannt ist weiter des Xerxes Bau der *Kriegsbrücke über den Hellespont* durch phönizische und ägyptische Bauleute, namentlich, wie der König nach dem ersten verunglückten Versuche den Hellespont mit Ruten peitschen und den Bauleitern die Köpfe abhauen liess. Zum zweiten Male gelang dann das Werk, und in sieben Tagen und sieben Nächten konnte das Millionenheer des persischen Eroberers in Europa einrücken. Die Brückenbaustelle, zwischen Abydos und Sestos gelegen, ist ausserdem noch berühmt durch die Sage von Hero und Leander und dadurch, dass Lord Byron in Erinnerung an diese Sage im Jahre 1810 in der Zeit von einer Stunde und 10 Minuten hinübergeschwommen ist.



[1]) 4. Buch 88.

II.

Von egyptischen, phönizischen und griechischen Meistern, die also schon im 5. Jahrhundert vorchristlicher Zeit im Brückenbau wohl erfahren waren, haben auch die Römer anfänglich lernen müssen. Sie haben aber die vorgefundenen Grundlagen bis zur Vollendung erweitert und vertieft, sodass Hunderte von Denkmalen römischer Kunst bis weit in das Mittelalter hinein für den europäischen Brückenbau vorbildlich geblieben sind. Auch in Rom sind trotz der welterschütternden Stürme, die von der ersten Zerstörung durch die Gallier (390 v. Chr.) bis auf die Zeiten der Gothen und Vandalen und in den blutigen Fehden des Mittelalters über die ewige Stadt dahingebraust sind, heutigen Tags noch einige Ueberreste altrömischer Brückenbaukunst zu finden. Wohl die älteste Brücke Roms über den Tiber war eine Holzbrücke, der *Pons sublicius*,

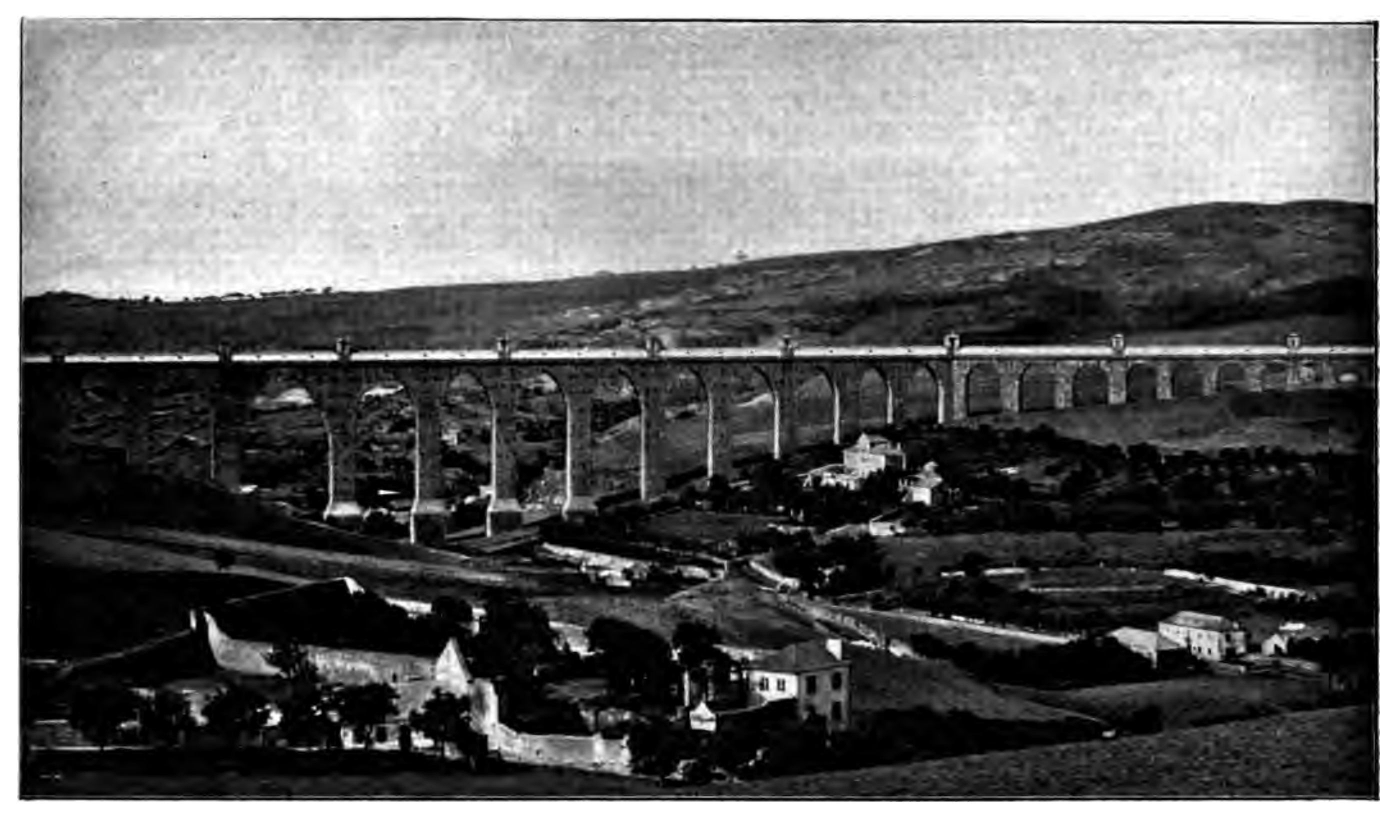


Fig. 6. Aquädukt in Bomfica bei Lissabon.

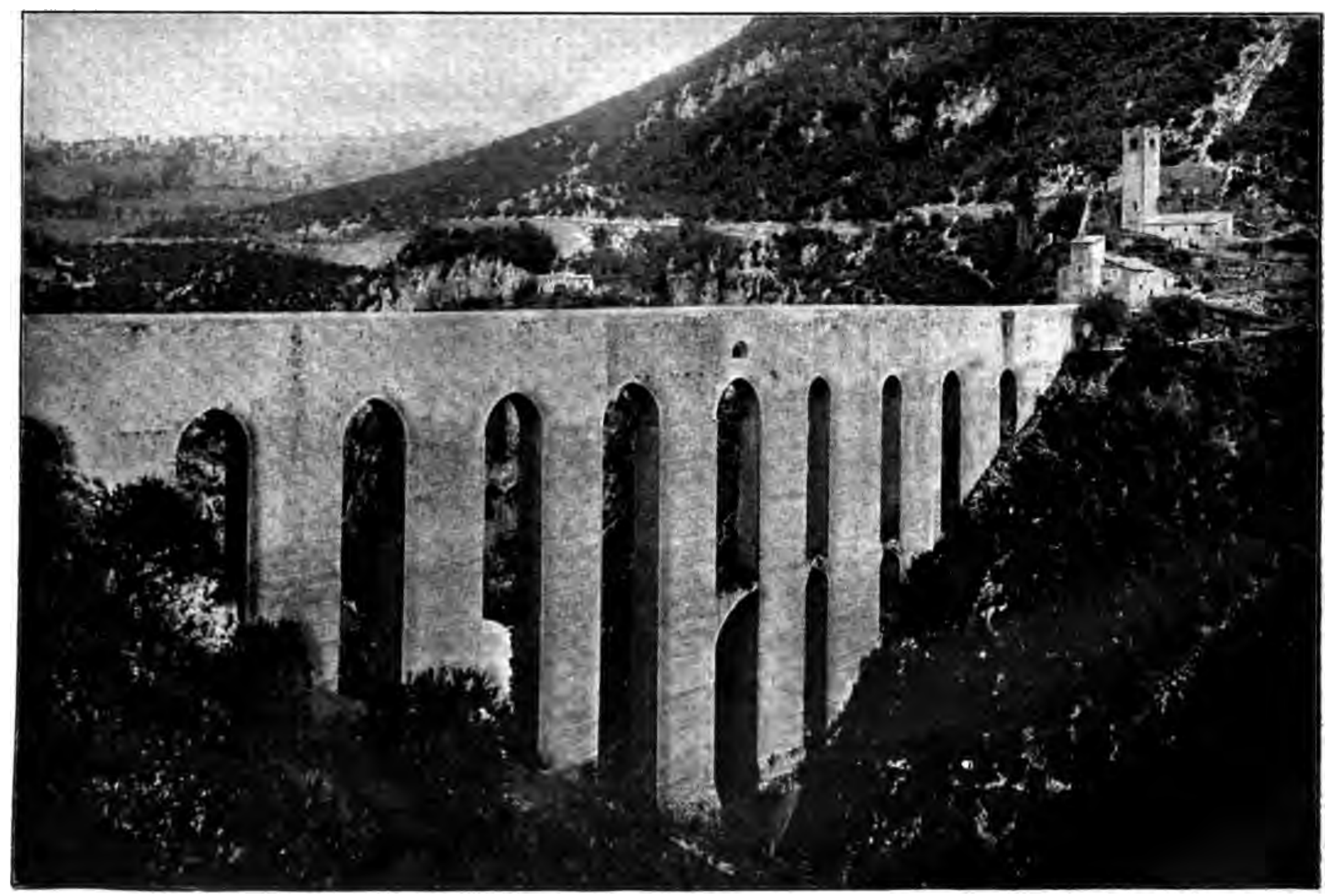


Fig. 5. Aquädukt von Spoleto.

weltberühmt durch die heldenmütige Verteidigung des *Horatius Cocles* gegen die Etrusker. Ihre Ueberreste wurden Jahrhunderte lang gewisser heiliger Gebräuche wegen von Priestern — den pontifices, die sie gebaut hatten — erhalten. An ihrer Stelle baute *Ancus Marcius* (im 7. Jahrhundert v. Chr. Geb.) eine steinerne Brücke und befestigte das jenseitige Janiculum als Brückenkopf zur Abwehr erneuter Angriffe der Etrusker. Heute steht an ihrem Platze eine neue eiserne Brücke mit dem alten Namen Ponte sublicio.

Von den erhaltenen Tiberbrücken der Siebenhügelstadt führe ich Ihnen drei der ältesten in ihrer heutigen Gestalt nach neuen Aufnahmen vor:

Zuerst oberhalb von Rom die sogenannte *Milvische Brücke*, jetzt *Pontemolle*, aus dem Jahre 100 v. Chr., bekannt durch den Sieg Konstantin des Grossen über Maxentius, der bei der Brücke ertrank (312 n. Chr.). Unter Papst Nicolaus V. (15. Jahrh.) erhielt sie gotische Bogen. Fig. 3.

Der *Pons Fabricius* oder *Ponte di quattro Capi*, stammt aus dem Jahre 61 v. Chr. Die Brücke zeigt zwei Oeffnungen von je 25 *m* Weite und führt von der Tiberinsel in die Stadt. Auch sie erhielt unter Papst Nicolaus V. (15. Jahrh.) gotische Bogen.

Der *Pons Aelius*, unter Hadrian (138 n. Chr.) von *Messius Rusticus* erbaut, hatte sieben Oeffnungen von je 19 *m* Weite. Es ist die heutige *Engelsbrücke*. Sie führt zum Mausoleum des Hadrian und zum Vatikan und ist mit Bildwerken von *Bernini* geschmückt.

Unter den sonstigen erhaltenen Römerbrücken ist sehenswert die *Augustus-Brücke* über die Marecchia in *Rimini*, ganz aus Marmor gebaut (30 v. Chr.) Fig. 4.

Weltbekannt sind ferner die beiden *hölzernen Jochbrücken*, auf denen *Cäsar* in den Jahren 55 und 53 v. Chr. zwischen Köln und Koblenz mit seinen Legionen über den Rhein gen Gallien zog.

Eins der wichtigsten Zeugnisse für die Kühnheit der römischen Brückenbaukunst besitzen wir in der Triumphsäule des *Trajan*. Deren in Windungen um den Säulenschaft laufende Reliefs stellen bekanntlich die denkwürdigsten Begebenheiten aus den Kriegszügen Trajans dar. Darunter befindet sich auch das Bild einer hölzernen Brücke, die der Kaiser (im Jahre 104) im dacischen Kriege durch *Apollodorus von Damascus* bauen liess. Die Brücke übersetzte die Donau unterhalb der Stromschnellen des eisernen Thores, etwa 20 *km* von Orsowa entfernt. Zwischen ihren Steinpfeilern spannten sich *Holzüberbauten in Bogengestalt*, von je etwa 36 *m* Weite[1]). Dabei waren die Pfeiler auf Felsen in 6 *m* tiefem Wasser gegründet. Wahrscheinlich aus Eifersucht auf den Erbauer liess Trajans Nachfolger, Hadrian, die Brücke wieder abbrechen.[2])

Die römischen Ingenieure setzten ihre Pfeiler anfangs auf Steinschüttungen, später verwendeten sie ein Betonbett. Dabei benutzten sie mit grosser Geschicklichkeit das Holz, teils in Gestalt des liegenden Rostes, teils als Pfahlrost, in ähnlicher Weise, wie es heute noch geschieht. Beim Bau der Bogenbrücke in Mainz in den Jahren 1883—1885 wurden völlig unversehrte Pfähle im Flussbett ausgegraben, die von einer im zweiten Jahrhundert dort gebauten römischen Holzbrücke herrühren. Auch hölzerne Fang- und Spundwände, durch Schöpfmaschinen wasserfrei gehalten, sind eine römische Erfindung, die wir heutigen Tages noch nicht entbehren können.

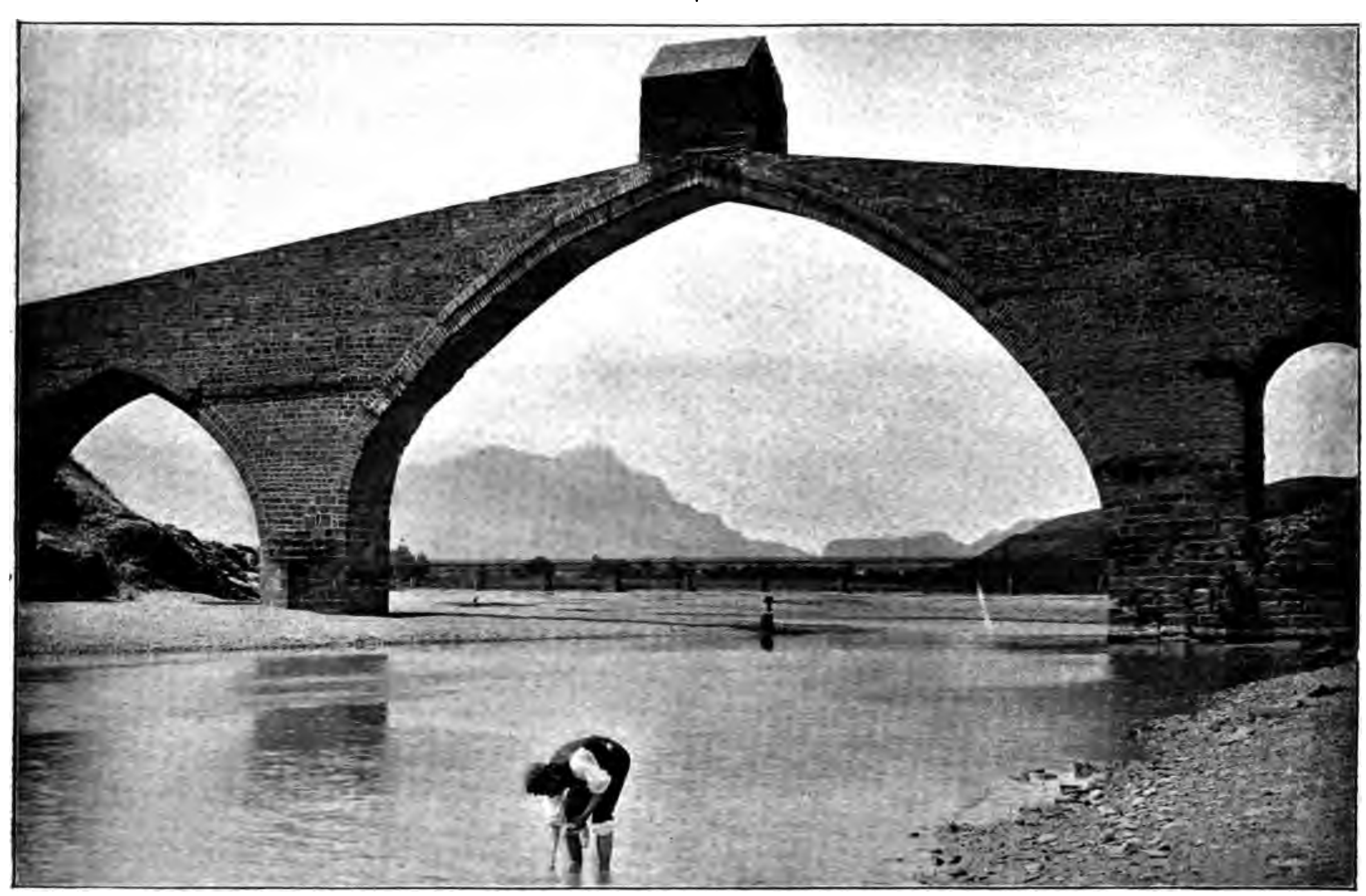


Fig. 7. Teufelsbrücke über den Llobregat-Fluss bei Martorell.

Im Gewölbebau benutzten die alten Römer nur den *Halbkreisbogen*, der Flachbogen scheint ihnen unbekannt gewesen zu sein. Deshalb ergaben sich bei ihren Brücken sehr starke Anrampungen von den Ufern aus bis zur Brückenmitte; auch verboten sich wegen dieses Umstandes bedeutende Spannweiten von selbst. In der Regel ist man zu römischen Zeiten über eine Spannweite von 25 *m* nicht hinausgegangen, 30 *m* sind nur in den seltensten Fällen erreicht worden.

Das Wachsen der Spannweite war von jeher ein Zeichen für das Fortschreiten der Brückenbaukunst, wie das auch ganz natürlich ist. Denn in dem Masse, wie der Techniker die Natur und ihre Kräfte bewältigen und be-

[1]) Perronnet und Gauthey geben (nach Dio Cassius) die Weiten auf 55 *m* an. Das ist nicht richtig nach einem Berichte von *Lalanne*, Vorsitzender des technischen Ausschusses für den Bau einer Donaubrücke, vom Dez. 1879. Vergl. auch Annal. des ponts et chaussées 1886, II, S. 542 ff.

[2]) Betreffs Wiederaufbau s. Schweiz. Bauztg. Jg. 1898 Bd. XXXI S. 133.

herrschen gelernt hat, ist ihm auch der Mut und das Selbstvertrauen gewachsen, und im Bewusstsein vermehrten Könnens hat er allmählich an immer grössere und schwierigere Aufgaben sich herangewagt[1]). Während die Spannweiten der steinernen Brücken des Altertums in der Regel 25 *m* nicht übersteigen, sehen wir sie im Mittelalter auf das Doppelte wachsen und gegenwärtig haben sie das Mass von 70 *m* noch nicht ganz überschritten. Eine einzige Brücke hat es allerdings im Mittelalter gegeben, deren Spannweite bis heute unerreicht geblieben ist, das war die *Adda-Brücke* bei *Trezzo* in Italien. Sie wurde in den Jahren 1370—1377 von dem Mailänder Herzog Barnabo Visconti mit 72 *m* Spannweite erbaut und im Jahre 1416 im Kriege durch den Grafen Carmagnola zerstört.

Die heutigen Fortschritte im Bau der steinernen Brücken gegenüber den Leistungen des Altertums erscheinen danach nicht bedeutend, wenn man allein das Wachsen der Spannweite als Masstab anlegt. Sie sind es aber von je 34 *m* grösster Weite und seine schlanken Pfeiler auf spätgotische Baumeister. Seine Höhe beträgt etwas über 85 *m* (Fig. 6).

Aus gotischer Zeit stammt wahrscheinlich auch das 37 *m* weite Spitzbogengewölbe der berühmten *Teufelsbrücke* über den *Llobregat*-Fluss bei *Martorell* in der spanischen Provinz Barcelona (Fig. 7). Die Belastung des Gewölbescheitels durch das schwere Thorgebäude zeugt von richtiger Erkenntnis der Standfestigkeits-Verhältnisse des Spitzbogens. Beide Widerlager der Brücke und der auf dem linken Ufer errichtete Triumphbogen sind unzweifelhaft altrömischer Herkunft. Im Jahre 1766 unter Karl III. wurde das Bauwerk gründlich wieder in Stand gesetzt und mit einer Inschrift versehen, nach welcher der ursprüngliche Bau von Hannibal (210 v. Chr.) herrühren soll.

Im übrigen Mitteleuropa zehrte man zunächst Jahrhunderte lang von der römischen Erbschaft, ohne etwas hinzu zu thun. Wie aber Stück für Stück der Hinterlassen-

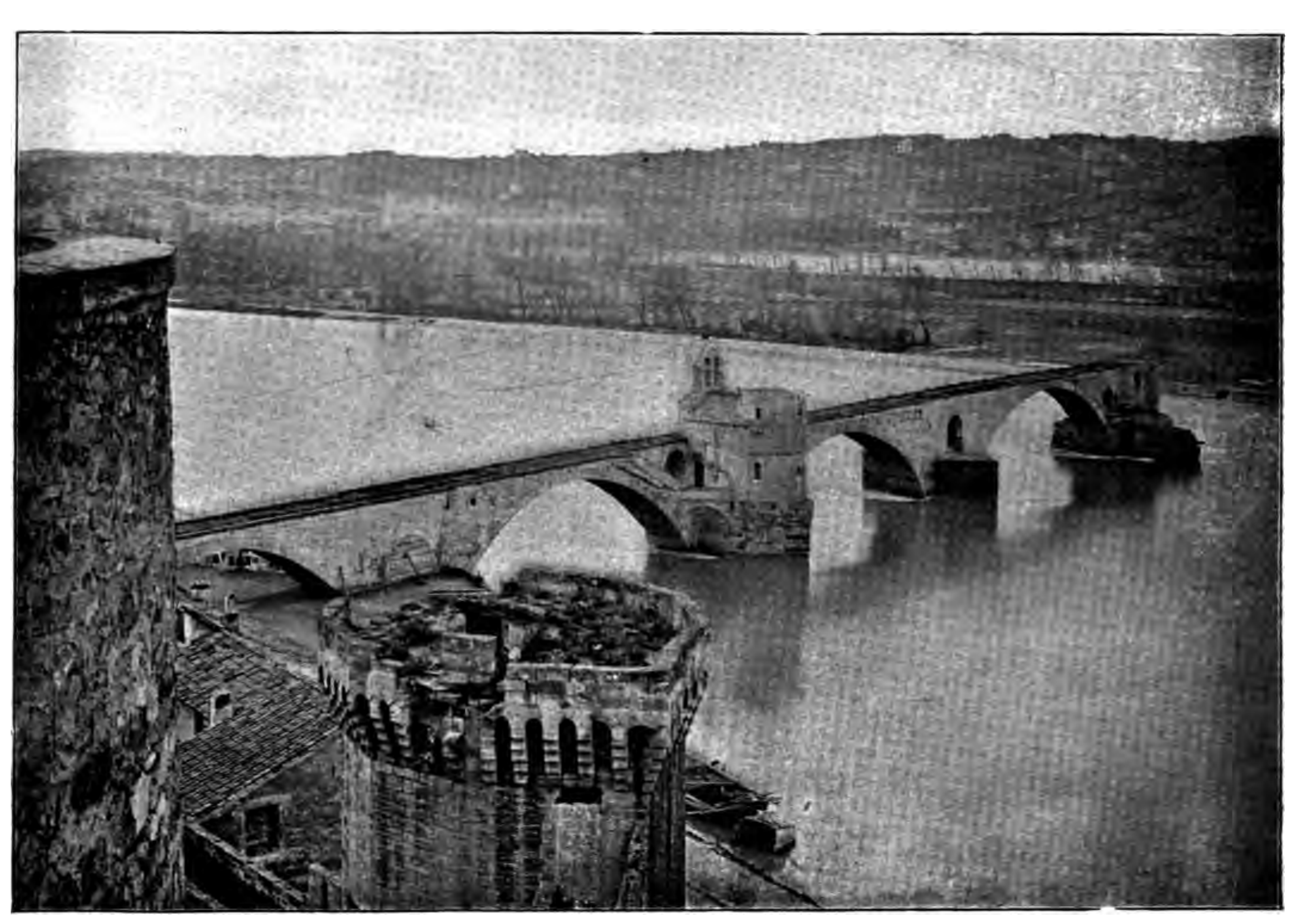


Fig. 8. Rhonebrücke in Avignon.

auch nicht, wenn man die Einzelheiten vergleicht. In der grossen Zeitspanne vom Verfall des römischen Reiches bis auf Karl den Grossen und seine Nachfolger erhoben sich wohl vereinzelt noch hervorragende Bauten, aber auch nur in jenen europäischen Ländern, deren Boden reichlich mit der Kultur des Altertums gedüngt war, namentlich also in Italien, Spanien und Frankreich. Die denkwürdigsten Wahrzeichen aus jener Periode bilden die *gotischen Aquädukte*.

Der *Aquädukt von Spoleto* in der italienischen Provinz Perugia ist etwa 90 *m* hoch. Die frühere Annahme, dass er aus der Zeit Theodorich des Grossen stammt, ist neuerdings widerlegt worden. Richtiger ist es, seine Erbauung in das 13. Jahrhundert zu setzen. Die Bogenöffnungen sind nur klein, sodass das Ganze den Eindruck einer durchbrochenen Wand macht (Fig. 5).

Der *Aquädukt in Bomfica bei Lissabon*. Die Zeit seiner Erbauung steht nicht fest, doch deuten seine Spitzbogen

[1]) Mehrtens, Weitgespannte Strom- und Thalbrücken. Centralblatt der Bauverwaltung 1890.

schaft in Trümmer zerfiel, sank auch die alte Kunst von Stufe zu Stufe. Erst im zwölften Jahrhundert, als die Spuren römischer Kunst bereits so verwischt waren, dass in Rom selbst, wie ein Quellenwerk des Mittelalters, die »Mirabilia urbis«, nachweist, nicht allein schon ein völliger Ruin des Altertümlichen, sondern auch eine grosse Unsicherheit aller alten Erinnerungen und Ueberlieferungen eingetreten war, erwachte die mitteleuropäische Brückenbaukunst zum Leben.

Verwunderlich muss es zwar erscheinen, dass in jenen Tagen, wo der romanische und gotische Stil bereits unvergessliche Triumphe feierte, das Feld des Strassen- und Brückenbaues noch so gut wie unbeackert lag. Die Baumeister des Strassburger Münsters, des Kölner Domes und der Wiener Stephanskirche waren, als ebenbürtige Nachfolger der Alten, doch wohl dazu angethan, um auch im Profanbau Grosses zu leisten. Doch der Geist der damaligen Zeit duldete es nicht. Die Kunst stand noch zu sehr im Dienste der Kirche, für die Zwecke des profanen

Lebens war sie kaum zu haben. Ich erinnere nur daran, in welchem Zustande sich noch im 15. Jahrhundert die Wege und Strassen Europas befanden. Selbst in den vornehmsten deutschen Mittelpunkten von Kunst und Verkehr, wie z. B. in Nürnberg und in Augsburg, waren bis zum 15. Jahrhundert Strassenpflaster und Strassenreinigung noch fast unbekannte Dinge. Bei den Uebergängen auf Flüssen und Strömen behalf man sich mit Fähren und Schiffbrücken.

In dieser Hinsicht wurde Wandel geschaffen durch Diener der Kirche selbst. Die *Mönchsorden*, namentlich die Benediktiner und Cisterzienser wurden die geistigen Urheber der ältesten steinernen Brücken des Mittelalters. Ihnen verdanken wir wahrscheinlich auch die Einführung des *Flachbogens*, der die Möglichkeit gab, die Strassen weniger steil zur Brückenmitte ansteigen zu lassen.



Fig. 9. Gusseiserne Bogenbrücke über den Severn bei Coalbrookdale.



Fig. 10. Gusseiserne Bogenbrücke über das Striegauer Wasser bei Laasan.

Die Pfeiler der alten Steinbrücken waren anfangs noch unförmlich dick. Sie standen auf massigen Steinschüttungen. Die Kunst der Römer, auf Beton zu gründen, ruhte vorläufig noch in der Vergessenheit. Erst als um die Mitte des 15. Jahrhunderts das Zeitalter der Renaissance herannahte, als die Schriften der lateinischen Klassiker aus dem Dunkel hervorgezogen wurden, schenkte man den technischen Einzelheiten der römischen Baukunst wieder grössere Beachtung. Das einzige Werk, das darüber ausführlich, wenn auch oft nur dunkel und lückenhaft Auskunft giebt, *Vitruv's: De Architectura*, beeinflusste dann Jahrhunderte lang die Grundlage aller Anschauungen.

An dem Mangel einer soliden Pfeilergründung, wie sie die römische Betonierung zwischen Pfahlwänden bot, krankten alle älteren Steinbrücken noch lange. Viele

stürzten bei Hochwasser ein, z. B. im Jahre 1342 die alten Brücken in Prag und Würzburg, während die alte Dresdener Elbbrücke mit einer starken Beschädigung davonkam. Weiter folgte der Einsturz von französischen Brücken: 1499 Notre Dame und 1596 Pont du Change in Paris; endlich im Jahre 1602 drei Bogen der hochberühmten *alten Rhone-Brücke in Avignon*, die mit Oeffnungen von 33 *m* Weite im Jahre 1178 durch den Benediktiner Mönch Bénezét, den Gründer des Ordens der französischen Brückenbrüder, den späteren Bischof St. Benediktus III., erbaut worden war.

Die Ueberreste dieser alten Brücke mit der Kapelle St. Bénezét's in einem Mittelpfeiler zeigt Ihnen eine Aufnahme aus neuester Zeit. Fig. 8.

Als weitere Beispiele aus dem zwölften Jahrhundert wähle ich die alten Brücken in Dresden, Regensburg und Florenz. Der Bau der *Dresdener Elbbrücke* begann schon im Jahre 1119 unter Herzog Heinrich dem Stolzen, vollendet wurde er 140 Jahre später. 1344 nach der erwähnten Hochflut wurde sie erneuert. Ihre jetzige Gestalt und den Namen „Augustusbrücke" erhielt sie unter der Regierung von Friedrich August I. in den Jahren 1727—1729.

Die *Regensburger Donaubrücke* wurde etwas später (1135) als die Dresdener Brücke angefangen, aber bereits im Jahre 1146 (unter Herzog Heinrich dem Stolzen) vollendet.

Zwei Aufnahmen aus Florenz zeigen einige der dortigen altertümlichen Arno-Brücken. Im Vordergrunde des ersten Bildes *Ponte vecchio* (aus dem zwölften Jahrhundert), die belebteste Brücke mit Goldschmiedsläden und einem Verbindungsgange zwischen den Palästen Pitti und Uffizi; dann die Trinitas-Brücke (aus dem 13. Jahrhundert) mit drei Oeffnungen von je 32,5 *m* Weite, die schönste von allen, bei deren Bau *zum ersten Male der Korbbogen* angewendet wurde; dahinter *Ponte alla Caraja* aus dem 14. Jahrhundert.

Die Fortschritte des späteren Mittelalters kommen besonders zur Erscheinung in dem *Wachsen der Spannweite* und in der *Abnahme der Schlusssteinstärke*. Die im Jahre 1354 erbaute *Burgbrücke in Verona* zeigt schon die bedeutende Weite von 44,4 *m*, bei einer Schlusssteinstärke von nur $^1/_{28}$ der Weite. Bei der genau um ein Jahrhundert später erbauten (im Anfange unseres Jahrhunderts eingestürzten) *Brioude-Brücke über den Allier* in Frankreich steigt die Weite auf das selbst heute noch ungewöhnliche Mass von über 54 *m*, wobei die Schlusssteinstärke sogar auf $^1/_{41}$ herabsinkt.

III.

Der Uebergang vom Mittelalter zur Neuzeit, mit seinen tiefgreifenden kulturellen Folgen und seinen befreienden Einflüssen auf allen Gebieten der menschlichen Thätigkeit, war auch für die Brückentechnik von sichtbarem Einflusse. Die Zeit der Mönchsorden und Brückenbrüder war dahin; Universitäten wurden die nunmehrigen Pflanzstätten der Wissenschaft. *Galileo Galilei*, der grosse Mathematiker und Astronom, eröffnete die Reihe der Förderer auf mathematisch-mechanischem Gebiete. Neben seinen himmelanstrebenden Werken gab er der Wissenschaft auch die Anfänge jener *Festigkeits-Theorien*, deren Ausbildung und Ausbreitung in den folgenden Jahrhunderten die Technik befähigte, mit einer bis dahin ungekannten Sicherheit und Kühnheit vorzugehen.

Die ersten wissenschaftlich gebildeten Ingenieure waren Franzosen. Colbert, der geniale Finanzminister Ludwig XIV., beschützte die Industrie, baute Kanäle und Kunststrassen und unterstützte Künste und Wissenschaften. Er stiftete (1666) die Akademie der Wissenschaften und (1671) die Akademie



Fig. 11. Louvre-Brücke (Pont des arts) in Paris.

der Baukunst. So wurde den französischen Ingenieuren vor allen andern frühe Gelegenheit geboten, neben der praktischen auch die wissenschaftliche Seite des Faches zu pflegen. Namentlich im Bau steinerner Brücken bildete sich eine mustergültige französische Schule aus, die eine Reihe von glänzenden Bauten schuf und der wir auch die ersten Veröffentlichungen über die *Theorie der Gewölbe*, sowie über die einfachsten Fälle der *Festigkeitslehre* verdanken.

Der mit der wachsenden theoretischen und praktischen Erkenntnis zunehmende Wagemut zeigte sich augenfällig sowohl in der *Verringerung der Bogenhöhe zur Spannweite* (das sogen. *Pfeilverhältnis*) als auch in der *knappsten Bemessung der Pfeilerstärke*. Unter Perronnet, dem Leiter der ersten Pariser Zeichenschule, die 1760 zur „École des ponts et chaussées“ erhoben wurde, feierte die französische Brückenbaukunst ihre höchsten Triumphe. Am kühnsten erscheinen Perronnet's Entwürfe für die *Pontoise-Brücke*, wo das Pfeilverhältnis nahezu $^1/_{14}$ beträgt, und die *Nemours-Brücke*, wo es sogar auf $^1/_{17}$ abnimmt. Sein meistbewundertes Werk, das er in den Jahren 1768—1774 schuf, ist die *Seine-Brücke in Neuilly*, westlich von Paris, wo dem grossen Meister, dem „ersten Ingenieur Frankreichs“, wie ihn seine Zeitgenossen nannten, am 3. Juli d. J. ein Denkmal gesetzt worden ist. Die ganz in Werkstein erbaute Neuilly-Brücke hat fünf Oeffnungen von je 39 *m* Weite, die Schlussteinstärke ihrer Gewölbe ist gleich $^1/_{24}$ und die Bogenhöhe gleich $^1/_{11}$ der Spannweite.

Mit der Neuilly-Brücke bin ich in der Reihe meiner Brückenbilder an der Wende des 18. Jahrhunderts angelangt. Ehe ich aber die Schwelle des 19., des eisernen Jahrhunderts überschreite, möchte ich zuvor in aller Kürze noch schildern, welche Wege die Kultur und Technik Europas bis dahin gewandelt sind.

Die Entdeckung Amerikas und der neuen Seewege drückte das Mittelmeer zu einem Binnensee herab. Der Mittelpunkt des Weltverkehrs verschob sich auf die Länder, deren Küsten der grosse Ocean umspült. Unter den Folgen dieser wirtschaftlichen Umwälzung litten hauptsächlich Italien und Deutschland; für Deutschland kamen dazu noch die unheilvollen Folgen des 30jährigen Krieges. In Spanien waren Verachtung ehrlicher Arbeit, wirtschaftliche Trägheit und übertriebener Adelsstolz die schlimmsten Hemmschuhe. Zur selben Zeit, als Adam Smith in England durch sein weltberühmtes Buch: „Wealth of nations“ den Grundstein zur neueren Volkswirtschaftslehre legte, mochte die Akademie von Madrid noch die Preisaufgabe stellen: „nachzuweisen, *dass nützliche Gewerbe nichts Ehrenrühriges haben.*“ [1]) So hat Spanien bis auf den heutigen Tag zu seinem Ruin selbst das meiste beigetragen.

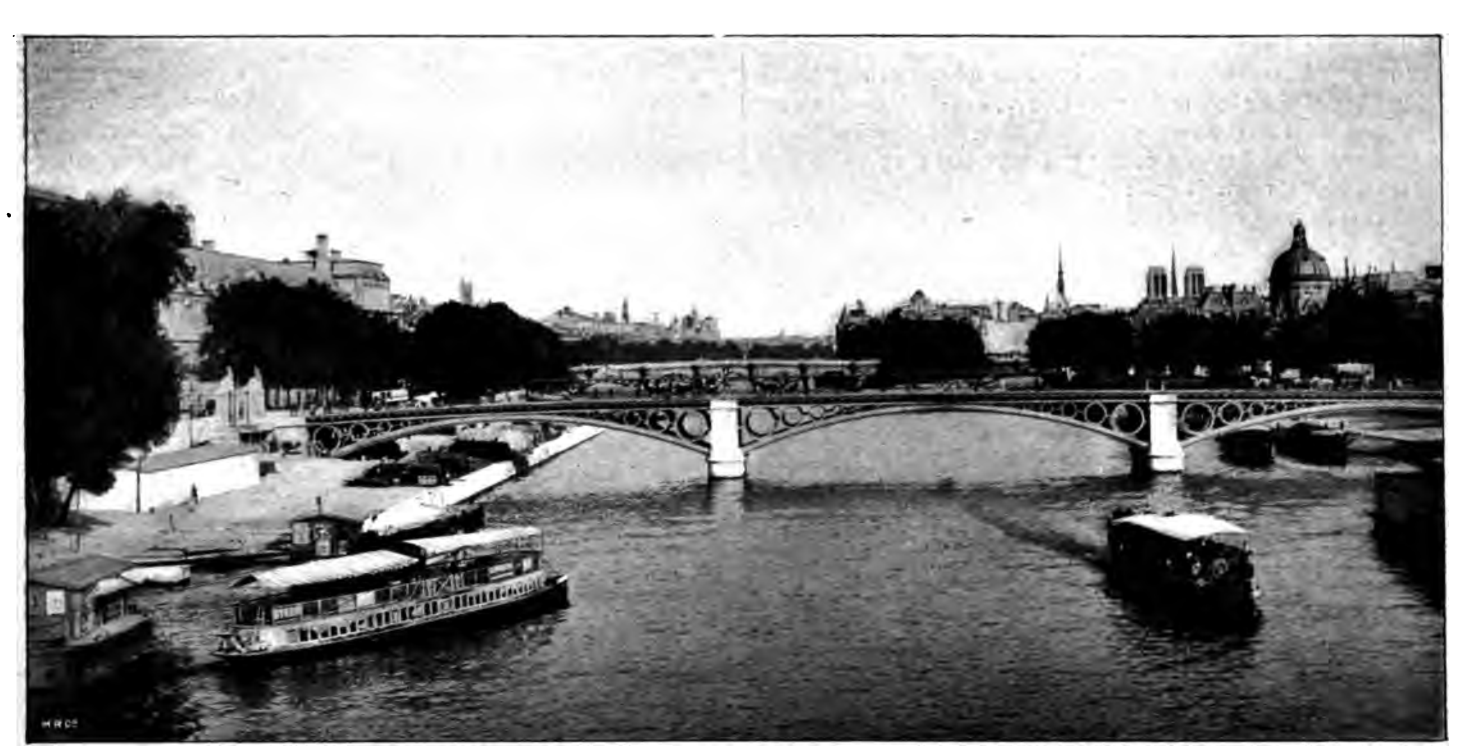


Fig. 12. Caroussel-Brücke in Paris.

Unter solchen Umständen mussten die grossen Staaten Frankreich und England in den Vordergrund treten. In der Technik behielt Frankreich lange Zeit seine führende Stellung, bis es von England abgelöst wurde. Die unübertreffliche Lage Englands allen Handelsküsten der Welt gegenüber; der hohe Gewerbefleiss seiner zähen, stets nur auf ihren Vorteil bedachten Bewohner; seine natürlichen Hilfsquellen und Bodenschätze, Kolonien und Kanäle, Kohlen und Eisen, haben dem Insellande die Weltherrschaft im Handel und Verkehr und in der Technik erringen helfen.

Die wichtigsten kulturgeschichtlichen Ereignisse auf dem praktischen Felde der Technik spielten sich im 18. Jahrhundert auf englischem Boden ab. England wurde so das Vaterland des Webstuhles und der Dampfmaschine, des Eisens, der Eisenbahnen und der *eisernen Brücken*.

IV.

Die Idee, *eiserne Brücken* zu bauen, findet sich schon in italienischen Schriften aus dem 16. Jahrhundert.[2]) Französische Ingenieure im Anfange des vorigen Jahrhunderts waren bestrebt, diese Idee zu verwirklichen.

Desaguilliers ging mit dem Entwurfe einer eisernen Themsebrücke um; *Garrin* hatte im Jahre 1719 bereits angefangen, über die Rhone in Lyon eine eiserne Brücke zu schlagen, schreckte aber vor den Schwierigkeiten und Kosten der Ausführung zurück, sodass die geplante Brücke aus Holz gebaut wurde.

England war es, das in den Jahren 1776—79 die *erste, feste eiserne Brücke der Welt* auf seinem Boden entstehen sah. Es war die gusseiserne *Bogenbrücke über den Severn* in der Nähe des weltberühmten Eisenwerkes Coalbrookdale in Shropshire, wo ihre Eisenteile gegossen worden sind. (Fig. 9) Nach ihrem Muster wurden in England in den beiden letzten Jahrzehnten des vorigen Jahrhunderts viele solche Bogenbrücken gegossen und sogar bis nach Amerika verschifft.

Dass die Brücke heute, nach 120 Jahren, noch wohlerhalten dasteht, ist fürwahr ein beredtes Zeugnis für die Vorzüglichkeit des Eisens als Brückenbaustoff. Ursprünglich besass sie nur eine einzige Oeffnung von 31 *m* Weite. Wahrscheinlich ist man seiner Zeit sich nicht ganz klar über

1) Roscher, System der Volkswirtschaft.

2) Faustus Verentius 1625. — *Gauthey*, Traité de la construction des ponts. Tome I. 1808.

die Wirkung des Bogenschubes gewesen. Wenigstens erzählt Stephenson[1]) von einem Weichen der Widerlager, wobei die gusseisernen Bogenrippen zum Teil brachen. Infolgedessen hat man im Jahre 1800 in der Rampe auf dem Broseley-Ufer noch zwei kleinere Landöffnungen eingelegt.

Auch die *erste eiserne Brücke des europäischen Festlandes* steht heute noch vorzüglich erhalten da, wie Sie hier sehen. (Fig. 10) Es ist die gusseiserne *Bogenbrücke über das Striegauer Wasser bei Laasan*, die im Jahre 1794 auf dem Königl. Eisenhüttenwerke Malapane gegossen und 1796 aufgestellt worden ist.[2])

Die *erste französische eiserne Brücke* ist (soweit bekannt) die 1803 von Cessart und Dillon erbaute gusseiserne Bogenbrücke über die Seine in Paris, Louvrebrücke, oder auch, wegen der im Louvre aufbewahrten Kunstschätze Pont des arts genannt. Sie hat 9 Oeffnungen von etwa 17 *m* Weite und steht heute noch (Fig. 11).

Die gusseisernen Bogenbrücken verbreiteten sich rasch; viele von ihnen stürzten aber bald nach ihrer Errichtung wieder ein, teils wegen mangelhafter Verbindungen, teils auch aus anderen in der Unkenntnis der Erbauer über die Wirkung des Bogens beruhenden Ursachen. So wurde das Vertrauen zu den eisernen Bogenbrücken gleich anfangs erschüttert und selbst bessere Entwürfe von hervorragenden englischen Ingenieuren vermochten nicht recht durchzudringen.

Die grösste in Gusseisen erreichte Spannweite — mit 73 *m* — zeigt die 1814 von *Rennie* erbaute *Southwark-Brücke über die Themse in London*. In ihrem Bilde sehen Sie im Hintergrunde die mächtig aufstrebende Kuppel von St. Paul. Bei dieser Brücke wurden die Bogenteile zum ersten Male mit Hülfe von Flanschen und Bolzen nach heutigen Begriffen sachgemäss verbunden. Erwähnenswert ist noch die (1834—36) von Polonceau gebaute gusseiserne *Caroussel-Brücke über die Seine in Paris* (Fig. 12) mit einer Stützweite der drei gleichen Bogen von 47,7 *m* und einer Pfeilhöhe von je 4,7 *m*. Sie zeigt eine wesentliche Verbesserung der von *Reichenbach*, Ende vorigen Jahrhunderts erdachten Bauart der Röhrenbrücken.[3]) Polonceau bildete seine Röhrenquerschnitte ellipsenförmig und versah die hochkantstehenden Flanschen der beiden Rohrteile mit versetzten Stössen.

Wenn das Interesse für die gusseisernen Bogenbrücken erlahmte, so hatte das auch noch einen andern als den schon erwähnten Grund. Mit der Ausbildung des Verfahrens der Darstellung des Schweisseisens im Puddelofen hatte die Technik der damaligen Zeit jenen ausgezeichneten Baustoff erhalten, dessen grossartigen Erfolgen auf allen Gebieten der Baukunst das gegenwärtige Jahrhundert den Beinamen des „eisernen" besonders verdankt. Die werdenden Eisenbahnen verschlangen das Puddeleisen bald in riesigen Mengen, nicht allein für Schienen und Fahrmittel, sondern zugleich auch für die eisernen Brücken, wodurch die vielseitige Ausbildung der Walzeisenformen zusehends gefördert und das Gusseisen zurückgedrängt wurde.

Sehr früh verwendete man das Puddeleisen zu den Ketten der *Hängebrücken*.[4]) Seit Jahrhunderten schon bedienen sich selbst Naturvölker dieser einfachen Brückenart. Es genügen dazu ja einige aus Pflanzenfasern oder Schlinggewächsen geflochtene Seile, von Baum zu Baum befestigt, und mit einer Querlage von Aesten oder Brettern versehen. Solche ursprüngliche Konstruktionen gab es und giebt es heute noch eine grosse Zahl. Ein Beispiel bietet eine *Brücke aus dem Kaukasus*, von 24 *m* Weite, deren Seile aus dreifach geschlungenen Weinreben bestehen[1]) (Fig. 13). Bei diesem naturwüchsigen Bauwerke ist, wie Sie sehen, auch der Fusspfad mit Stricken an dem Tragseile aufgehängt. Das bedeutet schon eine vorgeschrittenere Bauart. Es brauchte nur das Eisen und ein wenig Theorie hinzuzukommen, und der Uebergang zu den neueren Hängebrücken wäre gemacht.

Eiserne Ketten, auf denen die Verkehrsbahn unmittelbar zu liegen kam, verwendete man in China bereits im 16. Jahrhundert, in England erst um die Mitte des vorigen Jahrhunderts. Die ersten Kettenbrücken, deren Ketten mit Hilfe von Eisenstangen eine wagerechte Fahrbahn trugen, entstanden vor hundert Jahren in Amerika.



Fig. 13. Brücke aus dem Kaukasus.

Seitdem sind im Hängebrückenbau grosse Fortschritte zu verzeichnen. Sie beginnen in England mit der Einführung der *Flacheisenketten* durch Samuel Brown im Jahre 1811 und erreichten ihren Höhepunkt in Amerika, wo seit dem Jahre 1815 für die Traggurte der Hängebrücken *Drahtseile* bevorzugt wurden.

Die erste Gruppe von Hängebrückenbildern, die ich Ihnen zur Veranschaulichung jener Fortschritte vorführe, enthält nur *europäische Strassenbrücken* aus der ersten Hälfte unseres Jahrhunderts:

Die 1818—26 von *Telford* erbaute *Brücke über die Menai-Strasse bei Bangor*, mit einer Weite von 176 *m*, zeigt die erste grossartige Anwendung der Flacheisenketten. Sie steht noch heute.

Die in den Jahren 1833—35 von *Chaley* erbaute *Saane-Brücke bei Freiburg in der Schweiz*, mit 265 *m* Weite, hat inzwischen bedeutende Verstärkungen im Tragwerk und in den Verankerungen erfahren müssen. Sie ist die weitestgespannte Drahtbrücke Europas.

Die *Kettenbrücke über die Donau in Budapest*, 1839—45 von *Clark* erbaut, hat eine Mittelöffnnug von 183 *m* Weite. Auf jeder Seite der Brücke liegen zwei Ketten übereinander. Die Fahrbahnträger sind aus Gusseisen. Alles Eisen für diese Brücke kam aus England. Es war die bedeutendste Brücke damaliger Zeit, und noch heute gilt sie, auch ihrer Lage wegen, für die schönste Kettenbrücke.

Die weitestgespannte Kettenbrücke der Erde, die *Clifton-Brücke* über den *Avon bei Bristol* hat 214 *m* Weite. Ihr Bau begann schon im Jahre 1840 durch *Brunel*, wurde aber erst ein Vierteljahrhundert später mit den Ketten der inzwischen abgetragenen Charing-Cross-Brücke in London durch Hawkshaw vollendet.

Die wenigsten unter den Hängebrücken der älteren Zeit bestehen heute noch. Einige stürzten ein, andere wurden abgebrochen (darunter auch zwei Londoner Themsebrücken), alle aber haben nachträglich mindestens Verstärkungen erfahren. Die Gründe hiefür lagen meist in der unzureichenden Versteifung der Brücken gegen die Wirkungen der Verkehrslasten und des Windes.

V.

Die Hängebrücken für Eisenbahnen einzuführen, hatte man bis dahin nicht gewagt. Die ersten Eisenbahnbrücken

[1]) Encyclopaedia Britannica 8th. edition. «Iron Bridges.»

[2]) Die ältesten eisernen Brücken der Welt. Stahl und Eisen, 1896, Nr. 24, Schweiz. Bauztg. 1897 Bd. XXIX S. 39.

[3]) *Reichenbach*, Theorie der Brückenbogen u. s. w. 1809—11. *Bauernfeind*, Georg v. Reichenbach, 1883.

[4]) Vergl. Faustus Verentius 1625. — *Malberg*, Historisch-kritische Bemerkungen über Kettenbrücken. Zeitschr. für Bauwesen 1857 u. 1859.

[1]) A short history of bridge building. Engineering 1892, I, S. 2.

bildete man aus Stein oder aus hölzernen oder gusseisernen Trägern. Später folgten die *Blechträger,* wobei man, um für grössere Spannweiten die erforderlichen Widerstandsmomente der Trägerquerschnitte zu erhalten, die Trägergurtungen *kastenartig* anordnete. Ueber eine Spannweite von etwa 60 *m* kam man aber im Balken-Brückenbau damals noch nicht hinaus. Als daher im Anfange der vierziger Jahre *Robert Stephenson,* der Sohn des genialen Eisenbahners George Stephenson, den Auftrag erhielt, die Menai-

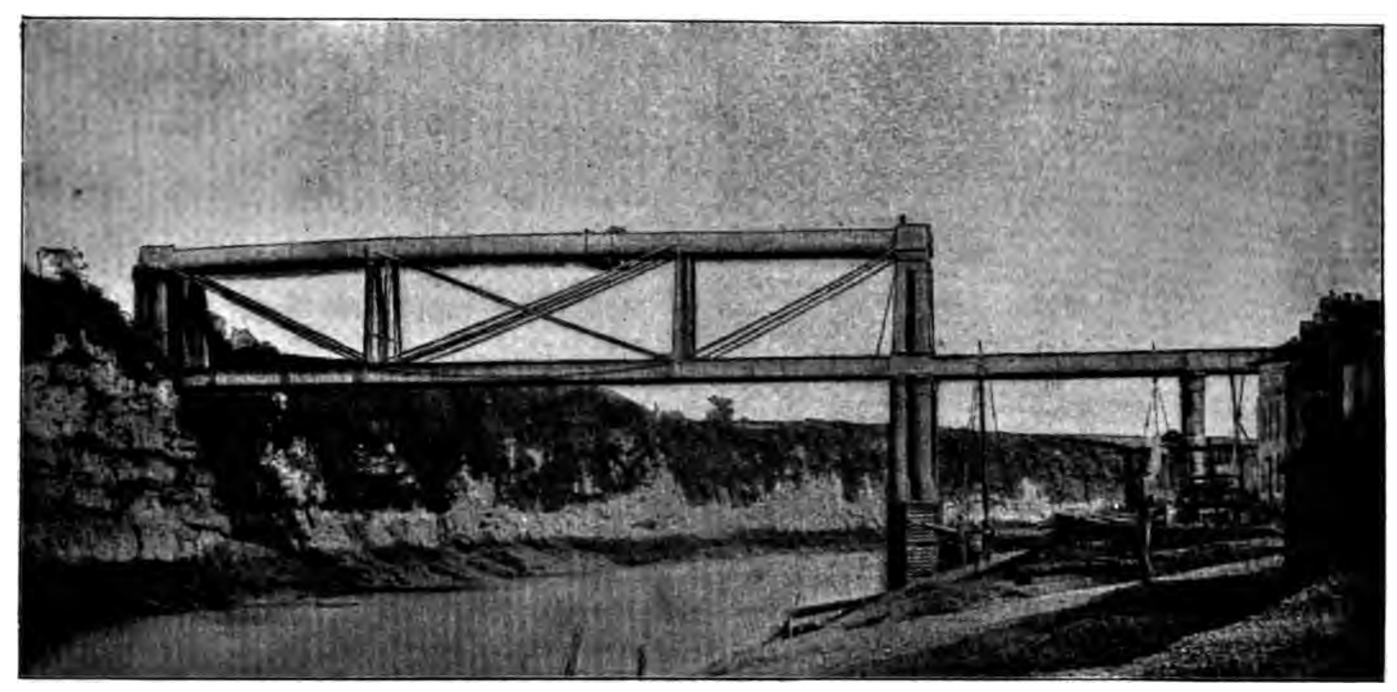


Fig. 14. Chepstow-Brücke über den Wye.

Meerenge und die Conway-Bucht in der Eisenbahnlinie Chester-Holyhead zu überbrücken, versuchte er es zuerst mit Entwürfen für eine gusseiserne Bogenbrücke und eine schweisseiserne Hängebrücke, weil diese Brückensysteme das allein Erprobte waren. Schliesslich wendete er sich aber dem Bau einer schweisseisernen Balkenbrücke zu, deren Träger einen *Kastenquerschnitt* erhielten, von so grossen Abmessungen, um einen ganzen Eisenbahnzug durchzulassen.

Sie sehen hier die Menai-Brücke, *die erste weitge-*

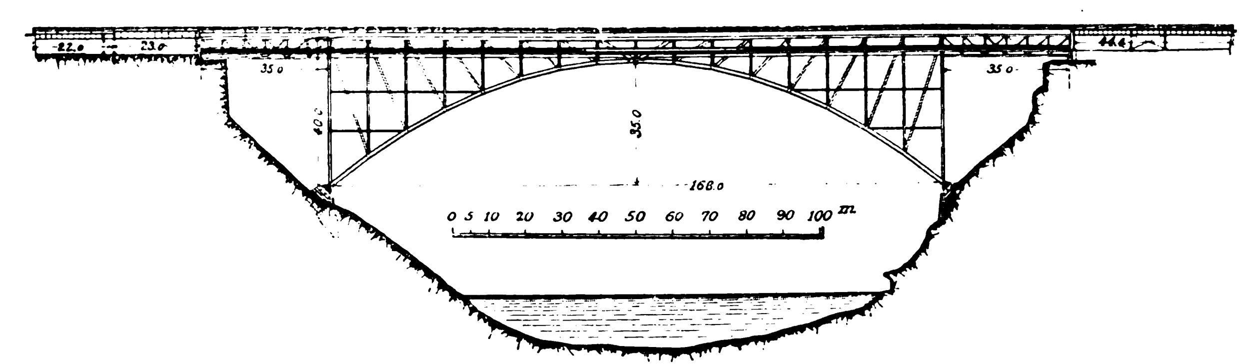


Fig. 15. Bogenbrücke über den Niagara.
1 : 200.

spannte Balkenbrücke der Welt, im Bilde. Die Stützweite ihrer beiden Mittelöffnungen beträgt je 142 *m.* Sie erhielt bei ihrer Eröffnung den Namen Britannia-Brücke, weil einer ihrer Mittelpfeiler auf dem Britannia-Felsen der Menaistrasse gegründet ist. Ihr Grundstein wurde gelegt im September 1846, und den letzten Stein verlegte Robert Stephenson selbst im Juni 1849.

Ein Bauwerk, das an Kühnheit und Eigenart der Konstruktion sich der Britannia-Brücke ebenbürtig zur Seite stellen darf, ist die *alte Weichselbrücke in Dirschau* in der Eisenbahnlinie Berlin-Königsberg. Die Vorarbeiten zu ihrer Erbauung fallen in die Zeit der Ausführung der Britannia-Brücke (1844—48). Die politischen Ereignisse des Jahres 1848 unterbrachen aber den Bau. Dadurch erhielt Lentze, der Erbauer der Brücke, Gelegenheit, die Britannia-Brücke an Ort und Stelle zu studieren und daraufhin liess er seinen ersten Entwurf einer Hängebrücke fallen. Er entschied sich ebenfalls für den Bau einer festen Balkenbrücke, ahmte aber die geschlossene Kastengestalt der Britannia-Brücke nicht nach, sondern baute eine Gitterbrücke mit fünf gleichen Oeffnungen von 131 *m* Stützweite. Am 12. Oktober 1857 passierte der erste Eisenbahnzug die Brücke. Die Ueberbauten der alten Dirschauer Gitterbrücke zeigen in ihren Einzelheiten wesentliche Fortschritte gegenüber ihren Vorläufern kleinerer Weite. Während diese durchweg gleich starke Gurtungen und Gitterstäbe erhielten, sind bei der Dirschauer Brücke die Querschnitte ihrer offenen zellenartigen Gurte, sowie auch die Abmessungen der Gitterstäbe den zugehörigen Spannkräften (nach den Theorien von Schwedler und Culman, die gleichzeitig im Jahre 1851 erschienen sind) angepasst worden. Auch wurden die Gitterwände durch Winkeleisenständer in sachgemässer Weise versteift. Die Berechnungen wurden durch den genialen *Schinz* ausgeführt, den angesichts des nahezu vollendeten Werkes tragischerweise ein plötzlicher Tod ereilte. Er ruht auf dem Kirchhof in Dirschau, wo ihm die preussische Staatsregierung ein Denkmal gesetzt hat.[1])

Der dritte, in die nämliche Entwickelungsstufe des Brückenbaues fallende, bedeutsame Bau ist die in den Jahren 1854—59 von Brunel errichtete *Saltash-Brücke über den Tamar* bei Plymouth in der Cornish-Eisenbahn. In kühner Weise schwingen sich ihre gusseisernen röhren-

[1]) Mehrtens, zur Baugeschichte der alten Eisenbahnbrücken in Dirschau und Marienburg. Zeitschr. f. Bauwesen 1893.

förmigen Obergurte, 139 *m* weit, von Pfeiler zu Pfeiler. Zwischen ihnen und den kettenartigen Untergurten spannt sich ein weitmaschiges Felderwerk. Zum ersten Male erscheinen hier beide Gurte *gekrümmt*. (Siehe Titelblatt.)

Zwei Jahre vor der Saltash-Brücke vollendete Brunel *die Wye-Brücke bei Chepstow* mit 93 *m* Weite. Bei ihr kam das weitmaschige Gitterwerk zum ersten Male in grossartigen Abmessungen zur Erscheinung. Dazu auch zum ersten Male die sogenannte *Halbparabelform* der Träger, mit gekrümmtem Obergurt und geradem Untergurt. (Fig. 14.)

Die Erbauung der Britannia-Brücke bedeutete den Anfang der Mitherrschaft der Balkenbrücken auf einem Felde, wo vordem unbeschränkt die Hängebrücken herrschten. Infolgedessen kam gleich im 6. Jahrzehnt der Hängebrückenbau Europas zum Stillstand.

Nordamerika trat in die Lücke ein. Dort sind etwa ein Vierteljahrhundert lang (vom 6. bis zur Mitte des 8. Jahrzehnts) Weiten über 100 *m* fast ausnahmslos durch Hängebrücken überspannt worden. Die genialsten Schöpfungen dieser Art rühren von zwei Deutsch-Amerikanern her, *Röbling* Vater und Sohn, wie denn überhaupt die hervorragendsten Brückenbauten Amerikas meist deutschem Geiste und deutschen Ideen entsprungen sind.

Röbling Vater baute in den Jahren 1851—55 sein

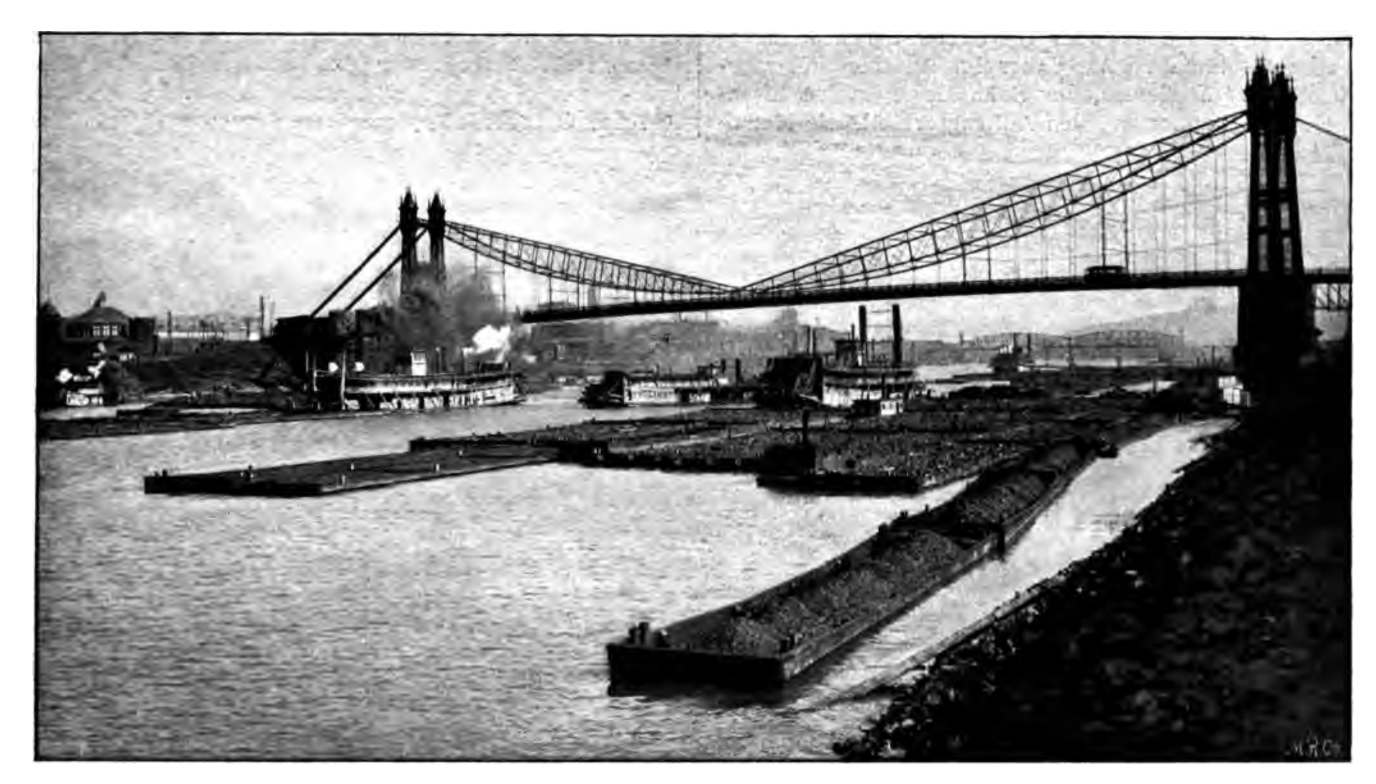


Fig. 17. Point-Brücke in Pittsburg.

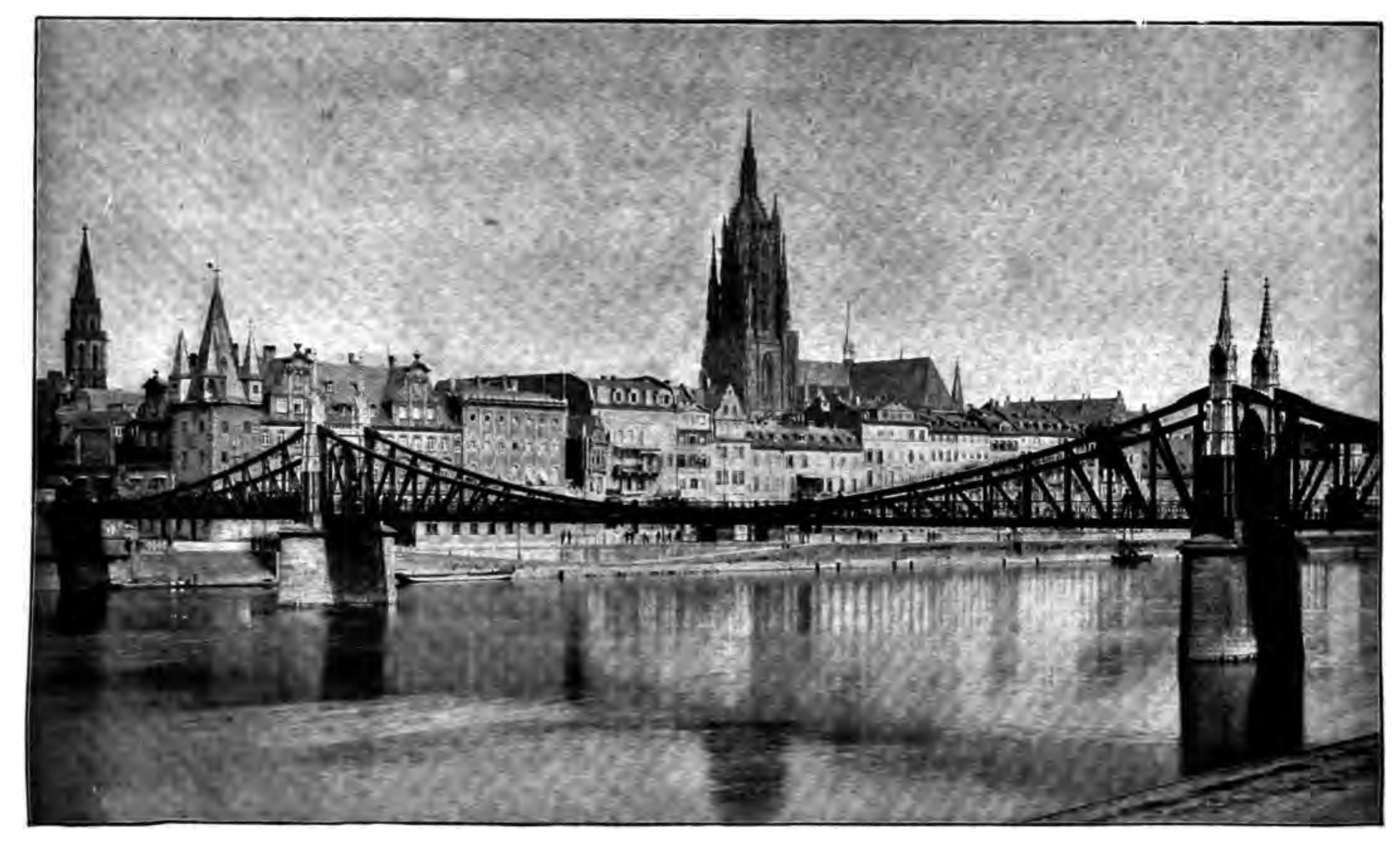


Fig. 16. Kettensteg in Frankfurt a. M.

kühnes Erstlingswerk, die *Niagara-Brücke*, die erste für den Verkehr von *Haupteisenbahnen* dienende Hängebrücke. Sie sehen die Brücke im Hintergrunde des Bildes, stromabwärts gelegen, wie sie mit einer Oeffnung von 250 *m* die



Fig. 18. Hängebrücke du Midi in Lyon.

Schlucht übersetzt. Sie hatte im letzten Jahrzehnt wesentliche Verstärkungen erfahren, und ist gegenwärtig, weil sie für die Ueberführung der heutigen schweren Eisenbahnzüge nicht mehr die erforderliche Sicherheit bot, beseitigt und



Fig. 19. Elbbrücke zwischen Blasewitz und Loschwitz bei Dresden.

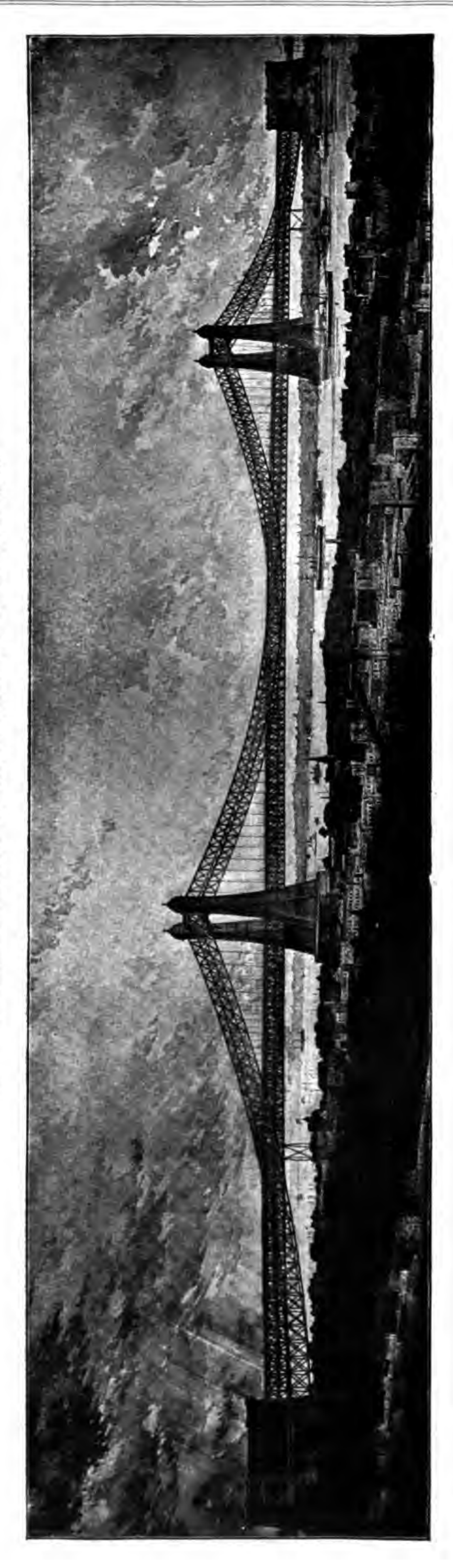
durch eine eiserne Bogenbrücke ersetzt worden. (Fig. 15.)[1])

Angeregt durch Röblings weitere Erfolge, die er namentlich durch den Bau der 322 *m* weiten *Drahtbrücke über den Ohio* zwischen Cincinnati und Covington[2]) erzielte, schenkten auch die europäischen Ingenieure den vernachlässigten Hängebrücken wieder mehr Beachtung.

Im Jahre 1863 baute Barlow die *Lambeth-Drahtbrücke* über die Themse in London, mit 85 *m* weiter Mittelöffnung. Sie ist die erste Hängebrücke der Welt, deren Tragwand zwischen dem Drahtkabel und der Fahrbahn durch Gitterwerk gegen die Einwirkung der senkrechten Lasten versteift ist. Diese Bauart, heute *Hängefachwerk* genannt, hat sich hohe Geltung verschafft, wie nachfolgende Beispiele noch näher erläutern werden.

Der Ihnen wohlbekannte, 1869 von *Schmick* erbaute, 69 *m* weite *Kettensteg über den Main* zwischen Frankfurt und Sachsenhausen, ist ebenso wie die Lambethbrücke ein Hängefachwerk. (Fig 16.) Hier erscheint zum ersten Male bei Hängebrücken ein *Scheitelgelenk*. Dadurch wird das

[1]) Vgl. Schweiz. Bauztg. 1896 Bd. XXVIII S. 82, 1897 Bd. XXXI S. 9.
[2]) Heute auch bereits durch Umbau versteift.



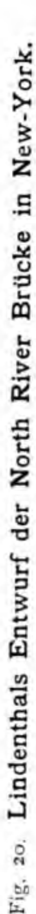


Fig. 20. Lindenthals Entwurf der North River Brücke in New-York.

System statisch bestimmt, sodass theoretisch die Einwirkung der Temperatur auf die Spannkräfte der Brückenstäbe verschwindet. Trotz dieser unleugbaren Vorzüge besitzt aber ein Scheitelgelenk — nicht allein bei Hängebrücken, sondern auch bei Bogenbrücken — die im Betriebe einer Brücke sehr unangenehm merkbare Eigenschaft der grossen Beweglichkeit unter den Stössen der Verkehrslasten. Dazu kommt noch, dass ja ein vollkommenes Gelenk, wie die Theorie es verlangt, nämlich völlig reibungslos, gar nicht zu schaffen ist. Ein solches völlig reibungsloses Gelenk wäre aber auch noch nachteiliger, als ein vollkommenes Gelenk. Ich halte deshalb die Anbringung eines Scheitelgelenkes bei allen Brücken, *deren Masse gegenüber der Verkehrslast nur klein ist*, für nicht vorteilhaft. Die ersten Vorschläge zur Anlegung eines Scheitelgelenkes bei Bogen- und Hängebrücken rühren aus den Jahren 1858—60 von *Köpcke* her.

Die Franz-Joseph-Brücke über die Moldau in Prag, mit 147 *m* weiter Mittelöffnung, wurde 1868 nach dem sogenannten System *Ordish-Lefeuvre* erbaut. Die Brücke ist inzwischen so wacklig geworden, dass zur Zeit ein Ersatz ihrer unzweckmässigen, langen, geraden Flachstäbe durch Drahtseile der Firma Felten & Guilleaume, sowie auch sonstige Verstärkungen vorgenommen werden. Nach dem gleichen unpraktischen Systeme ist (1870—73) die Albertbrücke in London, mit 122 *m* weiter Mittelöffnung, gebaut.

Des alten Röbling grossartigster Plan, die *Ueberbrückung des East-River* zwischen Brooklyn und New-York, wurde durch seinen Sohn, als der Vater 1869 starb, in den Jahren 1870—76 vollendet.[1]) Die Brücke überspannt in ihrer Mittelöffnung 486 *m*, die grösste bisher im Hängebrückenbau erreichte Weite. Bemerkenswert ist die erstmalige Anwendung von *Stahldraht* für ihre Kabel.

Eine ausreichende Steifigkeit seiner Brücken erzielte Röbling hauptsächlich durch *starkgebaute Fahrbahnträger*, die im stande waren, die Verkehrslasten gleichmässig über das Kabel zu verteilen. Ausserdem verwendete er *Schrägseile* (die sog. stays), die von den Türmen auslaufend, einen Teil der Fahrbahn mit tragen helfen. Indem diese Schrägseile die von ihnen gefassten Punkte der Fahrbahn am Durchbiegen verhindern, wirken sie also auch versteifend auf die entsprechenden Teile der Drahtkabel. Daneben erhöhte Röbling die Widerstandsfähigkeit der Brücke gegen Winddruck durch das *Schrägstellen der Tragwände*, unter einer Neigung von etwa $^1/_{20}$.

Röblings Verfahren zur Bildung der Kabel aus lauter einzelnen verzinkten Stahldrähten von gleicher Länge ist seitdem in Amerika Regel geworden. Um eine völlig gleichmässige Anspannung aller Drähte zu erzielen, wird jeder Draht (unter Berücksichtigung der bei seiner Aufhängung herrschenden Luftwärme) einzeln über den Fluss gezogen und (ebenfalls einzeln) nach einem *Leitdrahte* gelängt. Ist in dieser Weise das Aufhängen einer genügenden Anzahl von Drähten erfolgt, so werden diese durch Zusammenpressen mit Schraubenzwingen und durch festes *Bündeln* (unter Umwickeln mit weichem Drahte) zu einem Strange (Seil, Litze) zusammengefasst. Sind alle Stränge derart vorbereitet, so werden sie schliesslich durch festes Verbündeln zum Kabel vereinigt.[2])

Ein Jahr nach der Vollendung der East River-Brücke (also 1877) wurde die von Hemberle erbaute *Point-Brücke über den Monongahela* in Pittsburg dem Betriebe übergeben (Fig. 17.)[3]) Sie besitzt eine Mittelöffnung von 244 *m* Weite und zeigt zum ersten Male zwei für Amerika damals noch neue Dinge: durch Gitterwerk versteifte Trägerwände und ein Scheitelgelenk. Die Versteifung wird eigentümlicher Weise durch zwei schräg gegeneinander gestellte *Sichelträger* bewirkt, an denen die Fahrbahn aufgehängt ist. Wir besitzen zwei europäische Brücken, die nach dem Systeme der

[1]) S. Eisenbahn Bd. XIII S. 31, Schweiz. Bauztg. Jg. 1883 Bd. I S. 117 (Reisebriefe) und S. 148.

[2]) Mehrtens, Hängebrücken der Neuzeit. II. Stahl und Eisen, 1897.

[3]) Im Hintergrunde sieht man die Smithfield-Strassenbrücke, zwei Spannweiten von je 110 *m*, erbaut von Gustav Lindenthal 1882.

Point-Brücke gebaut sind: eine *Tiber-Brücke in Rom,* aus dem Jahre 1889, deren Hängegurte beide nach Hyperbeln gekrümmt sind, derart, dass sie nur *Zugspannungen* aufzunehmen haben und die 1895 vollendete *Towerbrücke über die Themse in London.*

Die geschilderten amerikanischen Neuerungen sind in etwas veränderter Art bei den *französischen Drahtbrücken* eingeführt worden. Man hat aber in Frankreich die Röblingschen ungeteilten starken Kabel nicht übernommen, sondern man verwendet in einem Hängegurte mehrere (gewöhnlich 4—5) nebeneinander liegende *kleinere Kabel,* die aus lauter spiralförmig ineinander geschlagenen Drähten bestehen, und die mit den Tragseilen auswechselbar verbunden sind. Diese *Spiralkabel* werden in der Werkstatt hergestellt und zeigen eine so ausreichende Biegsamkeit, dass man sie fertig an Ort und Stelle aufhängen kann. Zwei Beispiele mögen die französischen Neuerungen etwas näher veranschaulichen:

Die Brücke über die *Chéran-Schlucht in Savoyen;* 100 *m* hoch über der Thalsohle mit 73 *m* Weite, aus dem Jahre 1888.

Die um dieselbe Zeit erbaute *Brücke du Midi über die Saône* in Lyon mit 121 *m* Spannweite (Fig. 18). Die Mittel zur Versteifung bestehen bei diesen Brücken hauptsächlich in der Anbringung von stark gebauten eisernen Fahrbahnen und Fahrbahnträgern. Damit aber die Aufhängung der Fahrbahn möglichst statisch bestimmt erfolgt, dienen die von den Pfeilern strahlenförmig auslaufenden, geraden Hilfsseile nur zum Mittragen desjenigen Teiles der Fahrbahnen, der nicht schon an den senkrechten Tragseilen hängt. Deshalb fehlen die Hängestangen in der Nähe der Stützpfeiler.[1])

Es folgt jetzt (Fig. 19) ein deutsches Bauwerk hervorragender Art, die *Hängebrücke über die Elbe zwischen Blasewitz und Loschwitz* bei Dresden, im Volksmunde wegen ihres ursprünglichen blauen Anstrichs *das blaue Wunder* genannt; erbaut in den Jahren 1892 bis 1893 nach den Plänen von *Köpcke* als Hängefachwerk mit drei Gelenken. Bei dieser Brücke, deren Mittelöffnung 147 *m* misst, sind von Köpcke Neuerungen eingeführt, die ich hier kurz anführen will. Es sind:

1. die Anbringung des Scheitelgelenks unter der *Fahrbahn,* was leider eine nicht gerade schön wirkende Verstärkung des Scheitelpunktes durch einen darüber gelegten Gitterträger notwendig gemacht hat;
2. die Anwendung von Federn (aus Flusstahlplatten gebildet) zu den Gelenken;
3. die Verbindung der Trägerhälften der Mittelöffnung mit den auf Rollenkipplager gestellten Pilonen, so dass diese sich bei steigender Temperatur nach der Brückenmitte hin neigen müssen;
4. die Anwendung von künstlich belasteten Ankern in den Widerlagern zur Uebertragung der wagerechten Schubkräfte auf den Erdboden.

Diese Neuerungen haben insofern theoretischen Wert, als sie eine hohe statische Bestimmtheit der Konstruktion und eine Vermeidung von schädlichen Temperatur-Einflüssen gewährleisten. Aber die *Hyperbelform* der Gurte (die gewählt ist, um Druckspannungen in denselben zu umgehen) zusammen mit dem grossen *Pfeilverhältnis* von $^1/_6$ wirken unschön, abgesehen davon, dass die hohen Pilonen und die schweren Gurte unnötig auch die Träger-Windflächen vergrössern.

Wie wirkungsvoll in der äusseren Erscheinung eine Kabelbrücke sich gestalten lässt, sehen Sie aus den folgenden beiden Darstellungen der Entwürfe des Oberingenieurs *Kübler* von der Maschinenfabrik Esslingen, die in den Wettbewerben um eine *Donaubrücke in Budapest* und um eine *Rheinbrücke in Bonn* durch Preise ausgezeichnet worden sind.

Den ersten Preis erhielt die *Schwurplatzbrücke* über die Donau in Budapest, eine *durch einen Balken versteifte Kabel-*

Fig. 21. **Forth-Brücke in Schottland.**

Ansicht.

Grundriss.

Masstab 1 : 10 000.

[1]) Das Cliché Fig. 18 verdanken wir ebenso wie jene für Fig. 9 10 der Redaktion der Zeitschrift «Stahl und Eisen», in welcher ge- [illegible] cken

brücke, mit einer Oeffnung von 310 *m* Weite.[1]) Obwohl der Wettbewerb bereits vor vier Jahren stattgefunden hat, scheint man bis heute in Budapester massgebenden Kreisen noch zweifelhaft zu sein, ob man die Brücke besser mit Kabeln oder mit Ketten ausstatten soll. Da eine Kettenbrücke (aus mancherlei Gründen, die ich hier nicht näher erörtern kann) sich wesentlich teurer stellen muss, als eine Kabelbrücke, so steht zu hoffen, dass die endliche Wahl auf letztere fällt.[2])

Den zweiten Preis erhielt Küblers Entwurf der Rheinbrücke zwischen Bonn und Beuel, ein *Hängefachwerk*, mit einer Hauptweite von 225 *m*. Die mit dem ersten Preise gekrönte Bogenbrücke der Gutehoffnungshütte ist zur Zeit im Bau begriffen.

Den Beschluss meiner Reihe der Hängebrückenbilder bildet der grossartige Entwurf des Deutsch-Amerikaners *Gustav Lindenthal zur Ueberbrückung des North River in New-York*, mit einer Mittelspannweite von 945 *m* (Fig. 20). Herr Lindenthal hat die grosse Freundlichkeit gehabt, mir für den heutigen Vortrag eigens mehrere grosse Pläne zu überlassen, die Sie hier ausgehängt finden. Die North River-Ueberbrückung ist verdientermassen seit Jahren in vielen technischen Blättern der Welt schon so ausführlich besprochen worden[3]), dass ich mich hier auf das Notwendigste beschränken darf. Lindenthal will seine Kabelhängegurte als *Doppelketten* ausbilden, eine Konstruktion, die bereits (1836—1839) von Wendelstadt bei der alten Weserbrücke in Hameln und (1860–1864) von Schnirch bei der Eisenbahnbrücke über den Donaukanal in Wien verwendet worden ist, allerdings mit wenig Erfolg, denn diese beiden Brücken haben ihrer grossen Gebrechlichkeit wegen bereits abgebrochen werden müssen. Lindenthal will aber die Uebelstände des Systems der Doppelketten (namentlich die zu grosse Beweglichkeit) durch Einlegung von Kniehebeln in der gelenkartigen Lagerung der Hängegurte über den Türmen beseitigen.

Auch will Lindenthal keine Kabel wie bei der Brooklyner Brücke verwenden, sondern er bildet sozusagen *eine Kette aus lauter einzelnen Drahtgliedern*, die durch Stahlschuhe und senkrechte Kuppelplatten mit Hilfe von Gelenkbolzen aneinandergereiht werden. Diese Drahtglieder sollen in der Werkstatt fertiggestellt, darauf in Sondermaschinen einzeln auf ihre Festigkeit geprüft und dann in fertiger Form auf der Baustelle aneinandergehängt werden. Jede Kabelkette der Hängegurte besteht aus vier von solchen Drahtglieder-Strängen und wird auf ihrer ganzen Länge von einem 3 *mm* starken wasserdichten Stahlrohr umschlossen, das einen Schutz gegen Regen bilden wird und auch einer ungleichmässigen Erwärmung der Drahtglieder durch die Sonnenhitze entgegenwirken soll.[1])

Wie meine Bilderreihe wohl hat erkennen lassen, meine Herren, ist sowohl in Europa, als auch in Amerika das Interesse für die Hängebrücken immer noch lebendig, obwohl ja in beiden Ländern die Balkenbrücken vorherrschen. Für die Uebersetzung grosser Weiten muss in der That in den meisten Fällen eine sachgemäss versteifte Hängebrücke als die geeignetste Lösung erscheinen. Auch kann es wohl kaum mehr einem Zweifel unterliegen, dass für die wichtigsten Teile solcher weitgespannten Hängebrücken, — für die *Hänge- oder Traggurte* — die Verwendung eines zähharten *Stahldrahtes* am zweckmässigsten ist, wobei man mit *Zugfestigkeiten von 120—150 kg/mm²* und (bei *drei*facher Sicherheit) mit zulässigen Spannungen von 40—50 *kg/mm²* sicher rechnen darf.

Die Ueberlegenheit des Drahtes bei seiner Verwendung als Zugglied gegenüber dem Walzeisen, das als Flussmetall höchstens eine nur ein Drittel so hohe Zugfestigkeit besitzt, liegt auf der Hand. Deshalb kann auch, von einer gewissen Grenze der Spannweite ab, eine aus Walzeisen zusammengenietete Balkenbrücke nicht mehr mit einer Hängebrücke wetteifern. Auch müssen deshalb durchweg *genietete* Hängegurte unzweckmässig erscheinen. Eigentlich, darf man wohl sagen, hat man bei einer bedeutenden Hängebrücke nur die Wahl zwischen der Kette oder dem Kabel. Will man aber aus irgend welchen Gründen keins von diesen beiden, so wird man in der Regel besser thun, eine geeignete Balkenbrücke zu bauen.



Fig. 22. Alte japanische Holzbrücke.

VI.

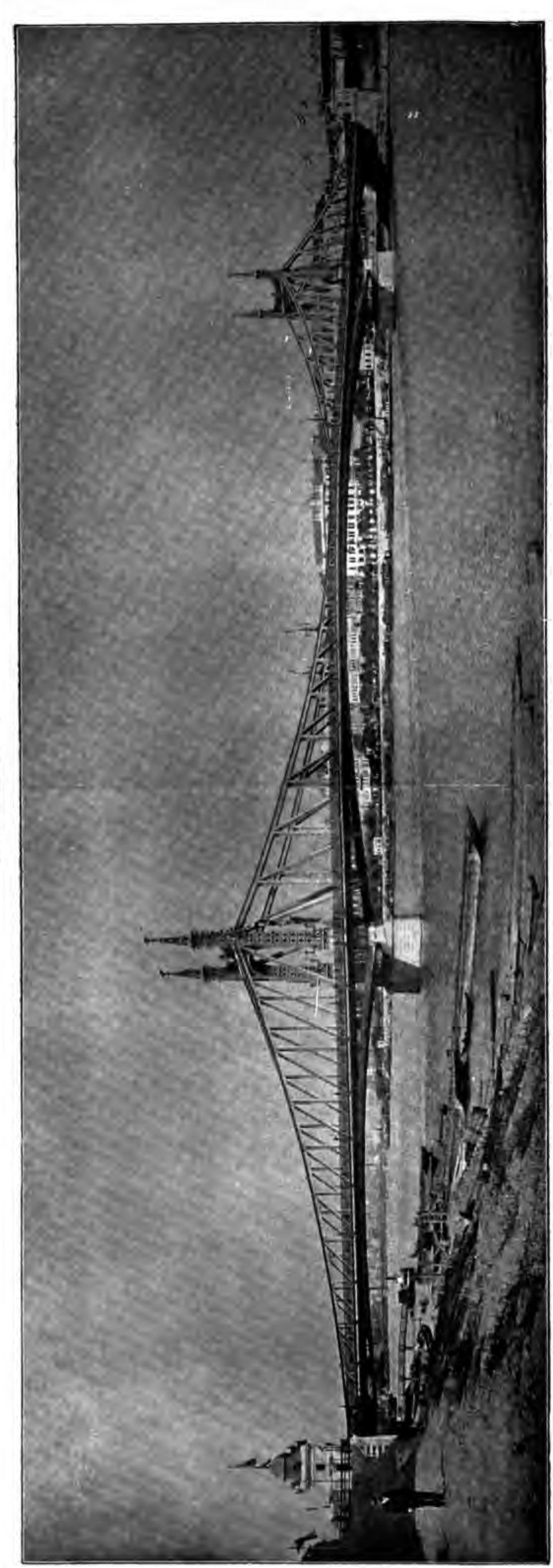
Ueberschaut man die lange *Reihe von neueren Balkenbrücken*, die in den letzten fünf Jahrzehnten entstanden sind, so erkennt man, wie die älteren Blech- und Kastenträger Schritt für Schritt sich in die heutigen Träger mit regelrecht gegliederter Wand umwandelten, in denen jedes Glied seiner Beanspruchung gemäss ausgebildet und angeschlossen ist, und wie man mehr und mehr erreicht hat, die Trägergestalt in ihren Grundlinien den theoretischen Bedingungen

[1]) S. Schweiz. Bauztg. 1894 Bd. XXIII Nr. 24.

[2]) Stahl und Eisen 1897, Nr. 12. — Für die Ausführung wurde das Kettensystem gewählt, vgl. Schweiz. Bauztg. 1897 Bd. XXIX S. 148. Die Red.

[3]) S. Schweiz. Bauztg. 1888 Bd. XII S. 88.

[1]) Näheres vergl. Verfassers «Hängebrücken der Neuzeit». Stahl und Eisen, 1897.



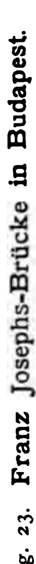


Fig. 23. **Franz Josephs-Brücke in Budapest.**

unter sparsamer Verwendung des Eisens anzupassen. Auf solchen Wegen haben sich einerseits die verschiedenen Trägerformen entwickelt als *Parallelträger*, *Parabelträger*, *Paulíträger*, *Schwedlerträger* und *Halbparabelträger* und anderseits auch die älteren Formen der geschlossenen Kasten-, Röhren- und Zellengurte in die neueren offenen Gurtquerschnitte umgebildet. Deutschen Männern vor allen — wie *Henz*, *Mohnié*, *Hartwich*, *Culmann Schwedler*, *Winkler*, *Mohr* u. a. — gebührt in erster Linie das Verdienst, hierbei durch Erweiterung und Vertiefung der theoretisch-praktischen Grundlagen thatkräftig und zielbewusst mitgewirkt zu haben.

Die beschriebenen Fortschritte im Balkenbrückenbau möchte ich zuerst durch eine Reihe von *europäischen* Brückenbildern belegen, wobei ich die hervorragenden Bauwerke länderweise herausgreife:

England tritt nach seinem grossartigen Anlaufe im fünften Jahrzent in den folgenden Jahrzehnten vom Schauplatz des Baues der Balkenbrücke fast ganz zurück. Es setzte die Welt nur zuweilen noch durch eine kühne Erstlingsthat in Erstaunen, so namentlich in den Jahren 1883 bis 1890 durch den Bau der *Eisenbahnbrücke* über den *Firth of Forth* bei Queensferry in Schottland (Fig. 21), deren Weiten mit 521 *m* bis jetzt in der Welt unerreicht geblieben sind.[1]) Diese Brücke veranschaulicht zuerst in grossartigem Massstabe eine besondere Art der Balkenbrücken, *Auslegerbrücken* (Cantilever-Brücken) genannt, die hauptsächlich für sehr grosse Weiten am Platze sind. *Ritter* behandelte bereits im Jahre 1860 das Einlegen von Gelenken in durchgehende Träger theoretisch. *Gerber* nahm 1866 ein Patent auf diese Idee, wobei ihm eine Verbesserung des Ruppert'schen Planes zur Erbauung einer Bosporus-Brücke vorgeschwebt hatte. Aber die Vorläufer der Auslegerbrücken sind schon in China, Indien und Japan zu suchen. In der Mappe eines befreundeten Malers fand ich die in Fig. 22 (S. 18) dargestellte Photographie einer alten *japanischen Holzbrücke*, die, wie viele andere ähnliche Brücken, den Grundgedanken der Ausleger klar zum Ausdruck bringt. Sie sehen auf dem Bilde ganz deutlich, wie die Holzbalken auf einer Uferseite vorkragen oder auslegen und wie der mittlere Teil der Brückenbahn auf den Auslegerenden ruht (vergl. auch Fig. 13, S. 12).

Die Vorteile bei der Anwendung der Auslegerbrücken beruhen, abgesehen von der statischen Bestimmtheit des Tragwerks, einerseits in Material-Ersparnis, anderseits in der Möglichkeit, die Brücken von den Pfeilern aus ohne Anwendung von festen Gerüsten, sozusagen freischwebend, vorzustrecken. Je nach dem Werte, den man dem einen oder anderen der Vorteile beimisst, wird man bei gegebener Spannweite die Länge der Ausleger, oder die Lage der Gelenkpunkte bestimmen. Bei weit gespannten Brücken tritt meistens die Rücksicht auf Erleichterung der Aufstellung (ohne oder mit beschränkter Benutzung von festen Gerüsten) in den Vordergrund. Aus diesem Grunde hat man bei der Forth-Brücke die Eisenmasse des Ueberbaues möglichst in die Nähe der Pfeiler zusammengedrängt.

Die weitestgespannte Brücke des europäischen Festlandes ist auch eine Auslegerbrücke. Es ist die Donaubrücke bei *Cernavoda in Rumänien*, die bei ihrer Einweihung im Jahre 1895 den Namen *Carol-Brücke* erhalten hat. Sie wurde von *Saligny* entworfen und verbindet die Stationen Fetesci und Cernavoda der Eisenbahnlinie Cernavoda-Constanza mit einer Hauptöffnung von 190 *m* und Seitenöffnungen von 140 *m* Weite.[2])

Die neueste und schönste Auslegerbrücke der Welt dürfte wohl die im vorigen Jahre eröffnete *Franz Josephs-Brücke über die Donau in Budapest* sein, mit 175 *m* Weite der Mittelöffnung[3]) (Fig. 23).

Die nächstgrösste Spannweite hat die 1868 von der Gesellschaft Harkort erbaute *Leck-Brücke bei Kuilenburg* in

[1]) S. Schweiz. Bauztg. Jg. 1889 Bd. XIV S. 31.

[2]) S. Schweiz. Bauztg. Jg. 1888 Bd. XII S. 126, 152; Jg. 1895 Bd XXV S. 145.

[3]) S. Schweiz. Bauztg. 1896 Bd. XXVIII S. 124.



Fig. 24. Neue Dirschauer Weichselbrücke.

der Eisenbahnlinie Utrecht-Kuilenburg. Die Träger ihrer 150 *m* weiten Hauptöffnung zeigen zum ersten Male (nach dem Vorbilde der erwähnten Wye-Brücke bei Chepstow) die *Halbparabel*-Gestalt in grösserem Massstabe. Holland besitzt noch mehrere solche grosse Brücken, die auch noch eine besondere geschichtliche Bedeutung dadurch erlangt haben, dass bei ihnen zuerst versucht worden ist, den *Stahl als Brückenbaustoff* zu verwerten.[1])

Ein bemerkenswertes Bauwerk in Oesterreich-Ungarn ist ferner die 1882—1884 erbaute *Trisana-Brücke der Arlbergbahn* bei Innsbruck, 86 *m* hoch über der Thalsohle gelegen und 120 *m* weit.

Das folgende Bild zeigt die in den Jahren 1889 bis 1892 erbaute neue *Weichselbrücke bei Dirschau*, deren Spannweite (mit 120 *m*) die grösste aller Balkenbrücken Deutschlands ist (Fig. 24). Das Material der Ueberbauten ist vorwiegend noch Schweisseisen, die wichtigsten Teile jedoch, das sind unter anderen die Trageisen, an denen die Fahrbahn hängt, sind damals versuchsweise aus *Flusseisen* gefertigt worden[2]).

[1]) Im Jahre 1862 wurden in Holland bereits drei *stählerne* Wegebrücken gebaut, durch die Werkstatt der Ww. A. Sterkmann im 's Gravenhage. Vergl. *Martini Bays & Koch.* Notice sur les grands ponts fixes pour chemins de fer dans les pays-bas. 1885. Rotterdam.

[2]) Mehrtens, Ueber die beim Bau der neuen Eisenbahnbrücken in Dirschau und Marienburg mit der Verwendung von Flusseisen gemachten Versuche und Erfahrungen. Stahl und Eisen 1891.

Es folgt eine Ansicht der *Weichselbrücke bei Fordon*, 1891 bis 1893 erbaut[1]) (Fig. 25). Die Brücke überschreitet die Weichsel mit fünf Stromöffnungen von je 100 *m* und 13 Flutöffnungen von je 62 *m* Stützweite. Ihre Gesamtlänge ist 1325 *m*. Die Ausführung der Stromöffnungen erfolgte durch die Gutehoffnungshütte Oberhausen, der Flutöffnungen durch Harkort, Duisburg 1892—93. Das Material der Ueberbauten ist durchweg *basisches Flusseisen*, in einer Gesamtmasse von etwa 11 000 000 *kg*. Diese massenhafte, von Erfolg gekrönte Verwendung des Flusseisens hat das Ansehen des neuen Metalles im europäischen Brückenbau wesentlich gehoben. Besonders aber haben die umfassenden, vergleichenden Versuche, die bei Gelegenheit des Baues der Fordoner Brücke auf dem Flusseisenwerke *Rothe Erde bei Aachen*[2]) angestellt worden sind, dargethan, dass das Thomas-Flusseisen dem Martin-Flusseisen ebenbürtig ist, was lange Zeit in Fachkreisen bezweifelt wurde. Man darf sagen, dass erst durch diese Versuche *die Einführung des Flusseisens im deutschen Brückenbau gesichert wurde*. Und heute schon nach fünf Jahren hat das Flusseisen auf dem Gesamtgebiete der Eisenkonstruktion das dort nahezu ein Jahrhundert allein herrschende Schweisseisen verdrängt.[3])

Ich wende mich jetzt zum *Balkenbrückenbau Amerikas*. Bis zum fünften Jahrzehnt unseres Jahrhunderts gab es in Amerika noch keine eisernen Balkenbrücken. Holz war der gebräuchliche Brückenbaustoff, auch die in Amerika so beliebten Draht- und Kettenbrücken besassen durchweg ganz hölzerne Fahrbahnen, z. B. auch noch Röblings Niagarabrücke. Die bekannten europäischen, einfachen oder zusammengesetzten Systeme von Hänge- und Sprengwerken, wie sie schweizerische Brückenbaumeister des 18. Jahrhunderts besonders pflegten, ebenso auch die Bogensprengwerke *Wiebekings* aus dem Anfange dieses Jahrhunderts haben in Amerika keinen rechten Boden gefunden.

Die amerikanischen Ingenieure bevorzugten Balkenbrücken und bildeten darin im dritten und vierten Jahrzehnt ihre eigenen Systeme aus, unter denen namentlich die *Town*'schen Lattenbrücken, und die *Howe*'schen Fachwerkträger insofern erwähnenswert sind, als sie nachweislich für die Wandglieder-Formen der ersten europäischen, eisernen Balkenbrücken vorbildlich waren. Als die Amerikaner dann im fünften und sechsten Jahrzehnt anfingen, selbst eiserne Brücken zu bauen, richteten sie sich wenig nach den damals bereits vorhandenen europäischen Mustern, sie schufen vielmehr auch in Eisen ihre eigenen Systeme.

Die in den ersten drei Jahrzehnten von 1840—1870 entstandenen eisernen Balkenbrücken Amerikas sind heute veraltet.

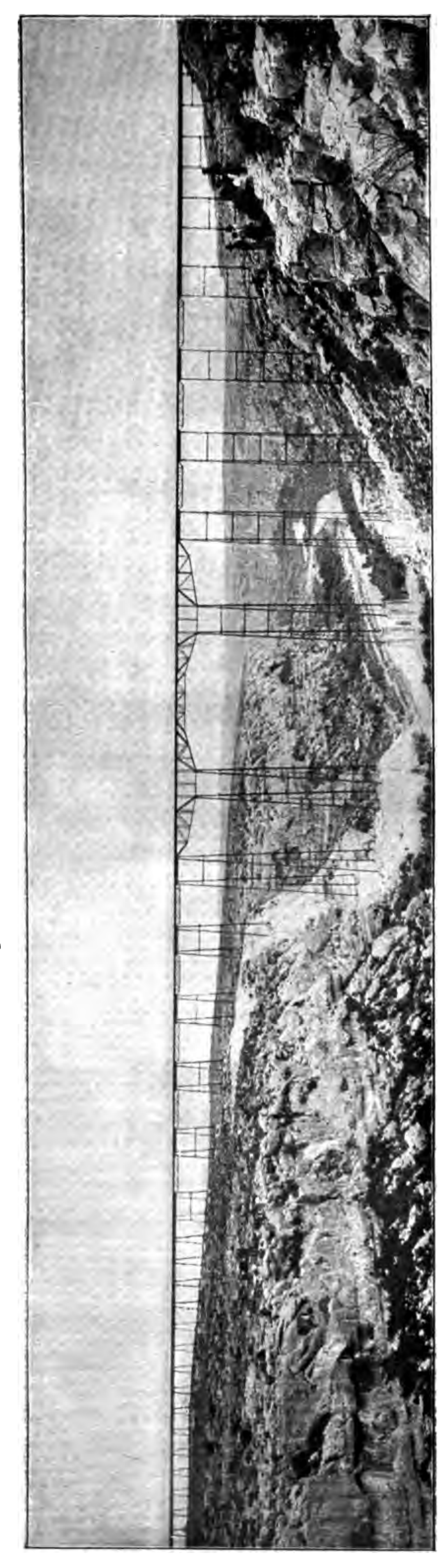
[1]) Nach den Plänen des Vortragenden. Vgl. Schweiz. Bauztg. 1893 Bd. XXII S. 149.

[2]) Auf Befürwortung und Veranlassung des Vortragenden. Stahl und Eisen, 1892 Nr. 13 und 1893, Nr. 7.

[3]) Vergl. *Krohn*, Entwickelungsgeschichte des Baues eiserner Brücken u. s. w. Verhandlungen deutscher Naturforscher und Aerzte. Allg. Teil 1898.



Fig. 25. Weichselbrücke bei Fordon.


Fig. 26. **Pecos-Thalbrücke bei Texas.**

Ihre Mängel beruhen hauptsächlich in der übertriebenen Verwendung von Gusseisen und in der geringen Widerstandsfähigkeit der Windverbände. Aber erst eine lange unablässige Reihe von traurigen Unglücksfällen (beginnend 1850 mit dem Einsturze einer Brücke auf der Erie-Bahn und bis in das achte Jahrzehnt sich fortsetzend) war nötig, um der öffentlichen Meinung Amerikas über den unhaltbaren Zustand der älteren Brückenbauten die Augen zu öffnen.

Die Eigenart der amerikanischen Balkenbrücken der Neuzeit beruht neben einer etwas schablonenhaften Nüchternheit der Formen in der ausschliesslichen Verwendung der *Bolzenverbindungen* für die Hauptknoten grösserer Brückenträger, während die europäischen Systeme durchweg *vernietete Knoten* aufweisen. Kleinere Träger (bis etwa 55 *m* Weite) werden neuerdings auch in Amerika vielfach durchweg vernietet, weil bei kleinen Brücken*gewichten* die Gelenke eine zu grosse Beweglichkeit der Knoten herbeiführen. Die Anwendung von Knotenbolzen macht das amerikanische Brückensystem dem europäischen gegenüber bekanntlich nur in zweierlei Hinsicht überlegen:

1) weil dadurch die Grösse der Nebenspannungen sich verringert und die genaue Berechnung der Grundspannungen und Nebenspannungen der Hauptträger erleichtert wird;
2) weil dadurch die Aufstellung der Brücken erleichtert und beschleunigt werden kann.

Die aus diesen Vorzügen sich ergebenden Vorteile sind unleugbar wertvoll, es entsteht nur die Frage, ob sie dem Nachteil der geringeren Betriebssicherheit gegenüber zu Gunsten der Bolzenbrücken entscheidend ins Gewicht fallen können. Nach diesseitiger Meinung nicht. Wir haben gewiss keine Veranlassung, das amerikanische System der Bolzenbrücken bei uns einzuführen.

Bei der Ueberbrückung von weiten tiefen Thälern und Schluchten haben die Amerikaner an Stelle kostspieliger Dammschüttungen lange Zeit, bis in das 8. Jahrzehnt hinein, ganz hölzerne Bauwerke ausgeführt, die sog. *Gerüstbrücken*. Sie bestehen aus einer grossen Zahl von hohen gerüstartigen, in kleinen Abständen von einander gestellten Holzpfeilern, die oben durch Holzträger verbunden sind. Im Laufe der Zeit sind viele solcher Gerüstbrücken durch Feuer zerstört worden, unter anderen auch im Jahre 1875 die bedeutende *Portage-Thalbrücke* zwischen Buffalo und New-York, die 260 *m* lang und 71 *m* hoch war. Heute sind die meisten von ihnen durch *eiserne Gerüstbrücken* (trestle works) ersetzt worden.

Einige wenige Bilder neuerer amerikanischer Balkenbrücken mögen Ihnen die Sonderart dieser Bauwerke näher vor Augen führen:

Die Niagara-Auslegerbrücke der Michigan-Centralbahn, unterhalb der Fälle, aus dem Jahre 1883, zeigte ich bereits bei der Besprechung der Röbling'schen Drahtbrücke. Ihre grösste Weite beträgt 141 *m*.

Die *Ausleger-Eisenbahnbrücke* über den *Hudson bei Poughkeepsie*, bereits 1873 von der Keystone-Bridge-Comp. angefangen, aber erst 1887 von der Union-Bridge-Comp. vollendet, mit Weiten bis 159 *m*, über 2 *km* lang.

Die *Ohio-Brücke der Cincinnati-Covington-Eisenbahn*, von den Phönixville-Werken 1889 vollendet, mit Weiten bis 168 *m*, heute noch die weitgespannteste reine Balkenbrücke Amerikas. (Fig. 27 S. 22.)

Die von der Union-Bridge-Company erbaute *Hawkesbury-Brücke* in Neu-Süd-Wales in Australien ist berühmt dadurch, dass ihre Pfeiler (ohne Anwendung von Pressluft) nur mit Hilfe von offenen, nach der Versenkung mit Beton gefüllten Holzkästen 54 *m unter Wasser tief* gegründet sind.

Es folgt jetzt das Bild der 1890 von den Phönixville-Werken gebauten *Ausleger-Eisenbahnbrücke* über den *Colorado-Fluss* zwischen Arizona und Kalifornien, mit einer grossen Oeffnung von 201 *m* Weite, die *Needles-Brücke* genannt. Die Umrisse der Träger dieser Brücke erscheinen echt amerikanisch und geradezu abschreckend hässlich.

Als grossartiges Beispiel einer neuesten Gerüstbrücke sei zum Schluss die 1894 erbaute, 662 *m* lange *Pecos-Thalbrücke in Texas* in der Süd-Pacific-Eisenbahn genannt, welche

96 *m* hoch über der Thalsohle liegt. Die mittleren, 56 *m* weiten Oeffnungen sind durch Auslegerträger überdeckt. (Fig. 26.)



Fig. 27. Ohio-Brücke der Cincinnati-Covington-Eisenbahn.

VII.

Sehr lange hat es gedauert, ehe man das schmiedbare Eisen auch im *Bogenbrückenbau* einführte. Einen Versuch



Fig. 28. Arcole-Brücke in Paris.

dazu machte zwar schon im Jahre 1808 der Franzose *Bruyère* mit der 12 *m* weiten Leimpfadbrücke über den Crou bei St. Denis, dann aber kommt eine Pause von einem halben Jahrhundert, worin man von schweisseisernen Bogenbrücken nichts hört. Das ist jene Spanne Zeit, in welcher anfangs die schweisseisernen Hängebrücken und später die schweisseisernen Balkenbrücken herrschten.

Erst in den Jahren 1853—1856 sind ziemlich gleichzeitig in Frankreich und der Schweiz die ersten schweisseisernen Bogenbrücken entstanden, von denen ich Ihnen die französische hier vorführe. Es ist dieses die von *Oudry* gebaute *Stadthaus-* oder *Arcole-Brücke* in *Paris*, die einen

kühn geschwungenen Blechbogen mit gitterartiger Zwickelversteifung, bei einer Weite von 80 *m* zeigt. (Fig. 28.)

Zu gleicher Zeit entstand die Aare-Brücke bei Olten, von *Etzel* gebaut, eine Eisenbahnbrücke der schweizerischen Centralbahn, mit Blechbogen ohne Zwickelversteifung ausgebildet. Sie hat drei Oeffnungen von je 31,5 *m* Weite. Anfangs baute man die Bogen ganz ohne Gelenke, also nach einem Systeme, das dreifach statisch unbestimmt ist, und an dessen genaue Berechnung man seinerzeit sich nicht gern heranwagte. Bald traten aber die *Kämpfergelenke* auf, zuerst 1858 bei der *Eisenbahnbrücke über den Kanal von St. Denis* in der Linie Paris-Creil und etwa zwei Jahre später begann auch die *Theorie* der Bogen- und Hängebrücken sich zu entwickeln. In Deutschland gingen dabei voran *Schwedler* und *Köpcke*, später folgten *Sternberg* und *Fränkel*, *Winkler* und *Mohr*, *Ritter* und *Engesser*.

Fig. 29. Aufstellung der Niagara-Strassenbrücke bei Cliffton.

Mit dem Bau der alten *Rheinbrücke* bei *Koblenz* im Jahre 1861—1864 (unter Hartwichs Oberleitung) beginnt der Aufschwung im Bogenbrückenbau der Neuzeit. Diese für die damalige Zeit vollendete Konstruktion (deren Berechnung Prof. Sternberg durchführte) war für die Entwickelung des Baues eiserner Bogenbrücken von tonangebendem Einflusse.

Die hervorragendsten Leistungen sind in Frankreich, Deutschland und der Schweiz zu finden. Amerika besitzt drei eiserne Bogenbrücken von Bedeutung. Das ist die 1868—1874 gebaute Gitterbogenbrücke über den *Mississippi* bei *St. Louis*, deren Gurte aus Chromstahl gefertigt sind, die 1889 vollendete *Washington-Brücke über den Harlem-Fluss* in New-York[1]), eine *Blechbogenbrücke* und die *Niagara-Bogenbrücke*. Eine neue grossartige Niagara-Bogenbrücke ist zur Zeit durch die Pencoyd-Brückenwerke im Bau (Fig. 29 und 30). England hat eine nennenswerte grössere Bogenbrücke nicht aufzuweisen.

Fig. 30. Aufstellung der Niagara-Strassenbrücke bei Cliffton.

[1]) S. Schweiz. Bauztg. 1892 Bd. XIX S. 33.

Die Reihe meiner Bogenbrückenbilder eröffnet die 1881—82 gebaute *Schwarzwasser-Brücke* in der Strasse von Bern nach Schwarzenberg (Fig. 31), deren Weite 114 *m* beträgt, ihrer Lage und äusseren Erscheinung nach wohl eines der schönsten Bauwerke dieser Art.[1]) Dazu ist in neuester Zeit die Aarebrücke in Bern gekommen, die Bern-Altstadt mit den nördlich liegenden Stadtteilen verbindet. Die Weite ihres Hauptbogens beträgt 117 *m* und ihre Fahrbahn liegt etwa 50 *m* über der Thalsohle[2]).

Die *höchste eiserne Brücke der Welt* ist die Bogenbrücke über das *Garabit-Thal* bei Saint-Flour, in der Eisenbahnlinie Marvejols-Neussarges, mit 165 *m* Weite und 122 *m* Höhe (in der Bogenmitte von der Thalsohle abgemessen), in den Jahren 1880—1884 von *Eiffel* erbaut (Fig. 32).

Die grösste Weite als Bogenbrücke besass bisher die für zwei Strassen in den Jahren 1881—1885 von der belgischen Gesellschaft Willebrock gebaute *Brücke Luiz I.* über den Douro bei Porto[3]), mit 172 *m* (Fig. 33). Sie wird aber von den neuen Rheinbrücken bei Bonn, Fig. 34[4]), und Düsseldorf, Fig. 35[5]) (mit 187 *m* und 180 *m*), vielmehr aber noch die neueste Niagara-Bogenbrücke mit 260 *m* Weite übertroffen.

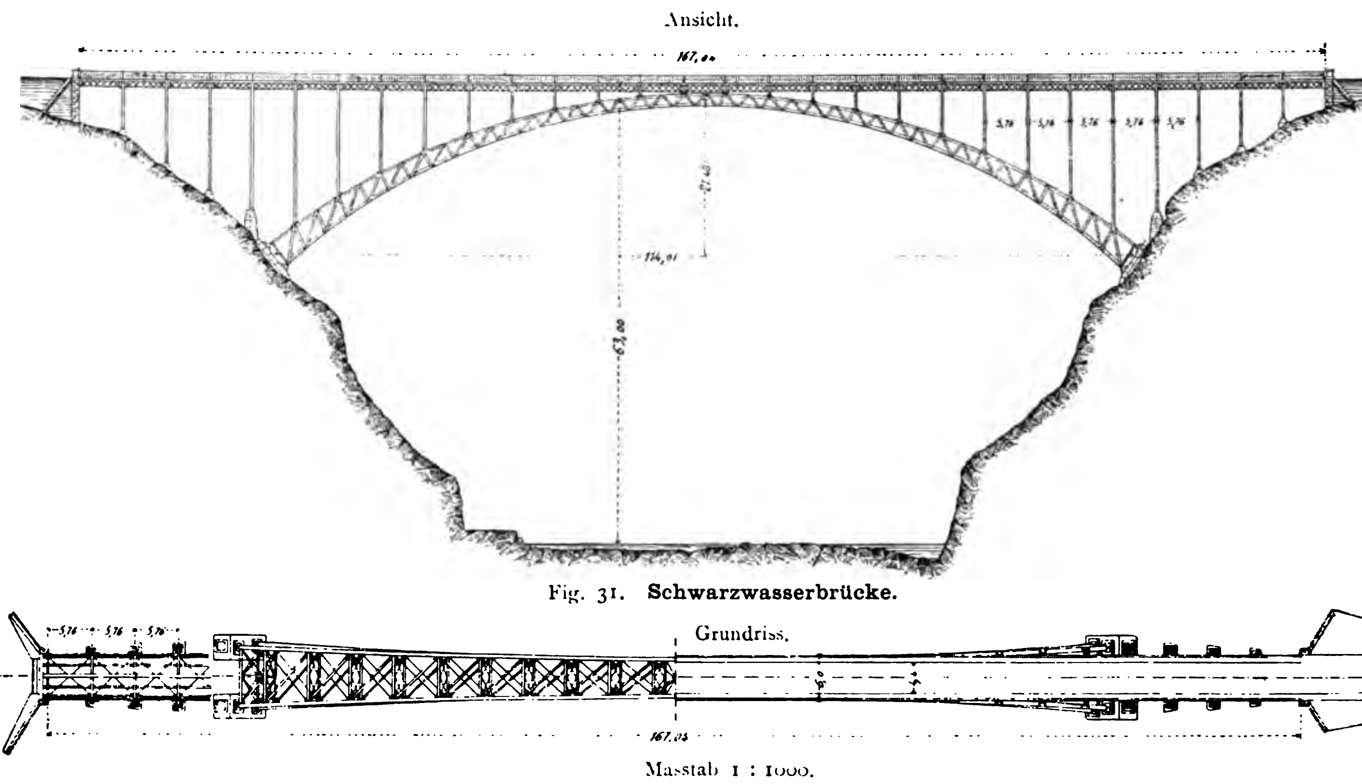
Die bedeutendste Brücke Italiens ist ebenfalls eine Bogenbrücke, die 1888–89 von den Savigliano-Werken erbaute *Adda-Thalbrücke* bei Paderno[6]) mit einer Weite von 150 *m* (Fig. 36).

In der Bilderreihe erscheinen jetzt die beiden Bogenbrücken des Nordostsee-Kanals: 1. die im Jahre 1893 zuerst vollendete *Hochbrücke* bei *Grünenthal*. Sie leitet eine Chaussee und die westholsteinische Eisenbahn über den Kanal. Bei einer freien Höhe von 42 *m* Höhe

[1]) S. Schweiz. Bauztg. 1884 Bd. IV S. 141, 147. — [2]) Bd. XXVIII Nr. 16—19, Bd. XXIX Nr. 6, Bd. XXXI Nr. 13, 14, 25. — [3]) 1886 Bd. VIII Nr. 17—20. — [4]) 1898 Bd. XXXII S. 268. — [5]) 1898 Bd. XXXII S. 205. — Krohn, Entwickelungsgeschichte des Baues eiserner Brücken und die neue Rheinbrücke bei Düsseldorf. Leipzig, 1898. Verlag von C. W. Vogel. — [6]) 1888 Bd. XI S. 123, 1889 Bd. XIII S. 137.



Fig. 32. Garabit-Thalbrücke.



Ansicht.

Fig. 31. **Schwarzwasserbrücke.**

Grundriss.

Masstab 1 : 1000.

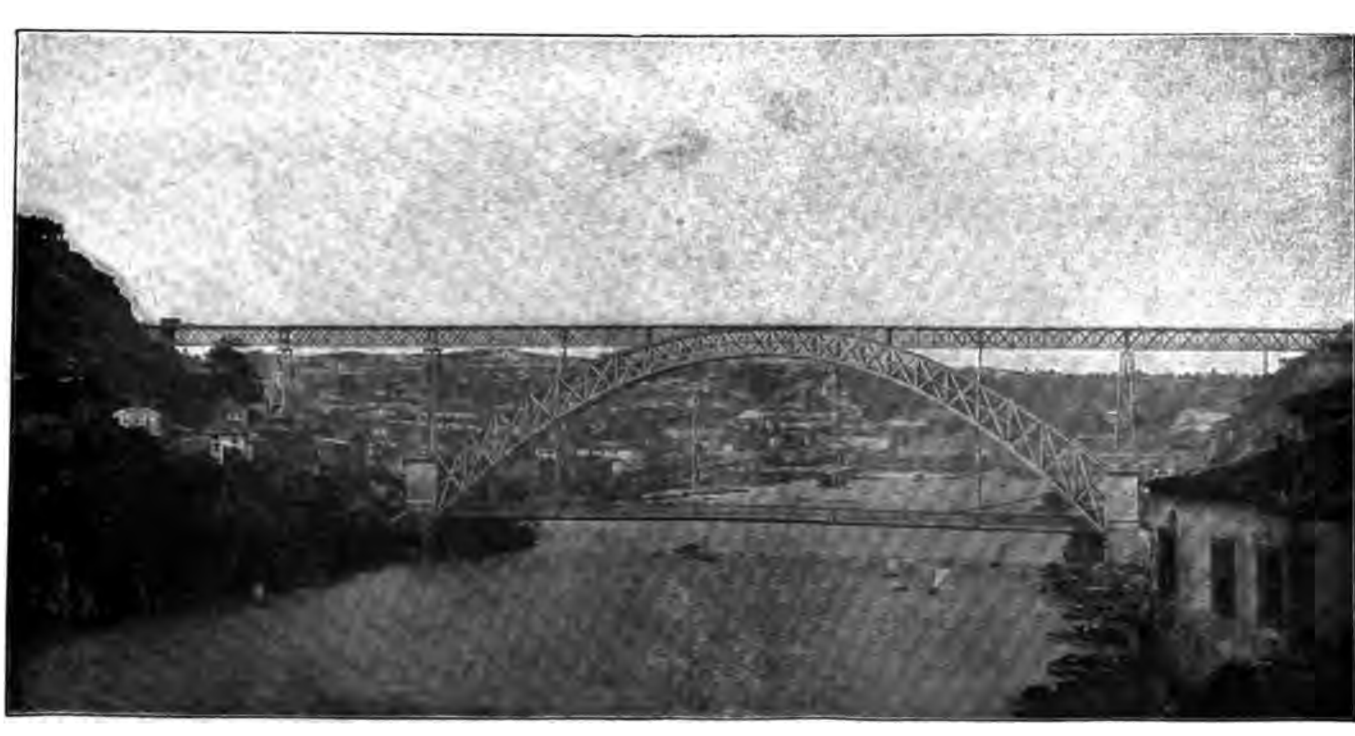


Fig. 33. Brücke Luiz I über den Douro bei Porto.

über dem Wasser hat sie 156,5 *m* Weite zwischen ihren Kämpfergelenken;

2. die etwas später vollendete Hochbrücke bei Levensau. Sie dient zur Ueberführung der Kiel-Flensburger Bahnlinie und der Chaussee Kiel-Flensburg. Ihre Weite von 163,5 *m* ist in allerneuester Zeit bei der weltbekannten Müngstener Thalbrücke noch übertroffen worden.

Die *Müngstener Brücke* in der Bahnlinie Solingen-Remscheid übersetzt das Wupperthal mit einem Bogen von 170 *m* Weite und 107 *m* Höhe über der Thalsohle.[1]) Entwurf und Ausführung dieser grossartigen Brückerühren von der Maschinenbau-Aktien-Gesellschaft Nürnberg her, deren Direktor, Herr *Rieppel*, mir freundlichst zwei Photographien für den heutigen Abend zur Verfügung gestellt hat. Das erste Bild stellt die schwierige Aufstellung des grossen Bogens dar (Fig. 37 und 38); das zweite Bild veranschaulicht die fertige Brücke (Fig. 39). Am 14. Juli d. J. fand bekanntlich die feierliche Verkehrsöffnung der Brücke statt in Gegenwart des Prinzen Friedrich Leopold und der Staatsminister von Miquel und Thielen.

Das Wachsen der Spannweiten im Bogenbrückenbau offenbart deutlich die vorgeschrittene Kunst. Von etwa 100 *m* beiden älteren Rheinbrücken bei Rheinhausen und Koblenz und 102 *m* bei der prächtigen, von Lauter und Thiersch entworfenen Mainzer Brücke, ist man in Deutschland bereits bei 180 *m* und 187 *m* angelangt. Das sind die Weiten der grossen Oeffnungen der beiden neuen Rheinbrücken in Bonn und in Düsseldorf, von denen ich Ihnen am Schluss der Bogenbrücken-Gruppe zwei neuere Aufnahmen vorführe, die mir in liebenswürdiger Weise von der Gutehoffnungshütte für den heutigen Abend überlassen worden sind.[1]) Sollte aber in den nächsten Jahren, wie zu hoffen, auch die zweite feste Rheinbrücke in *Köln* zur Ausführung gelangen, so wird das in Bonn und Düsseldorf erreichte Mass wahrscheinlich wieder bedeutend überschritten werden. Unerreicht aber wird wohl noch lange bleiben die Weite der neuesten Niagara-Bogenbrücke mit 260 *m*. —[2])

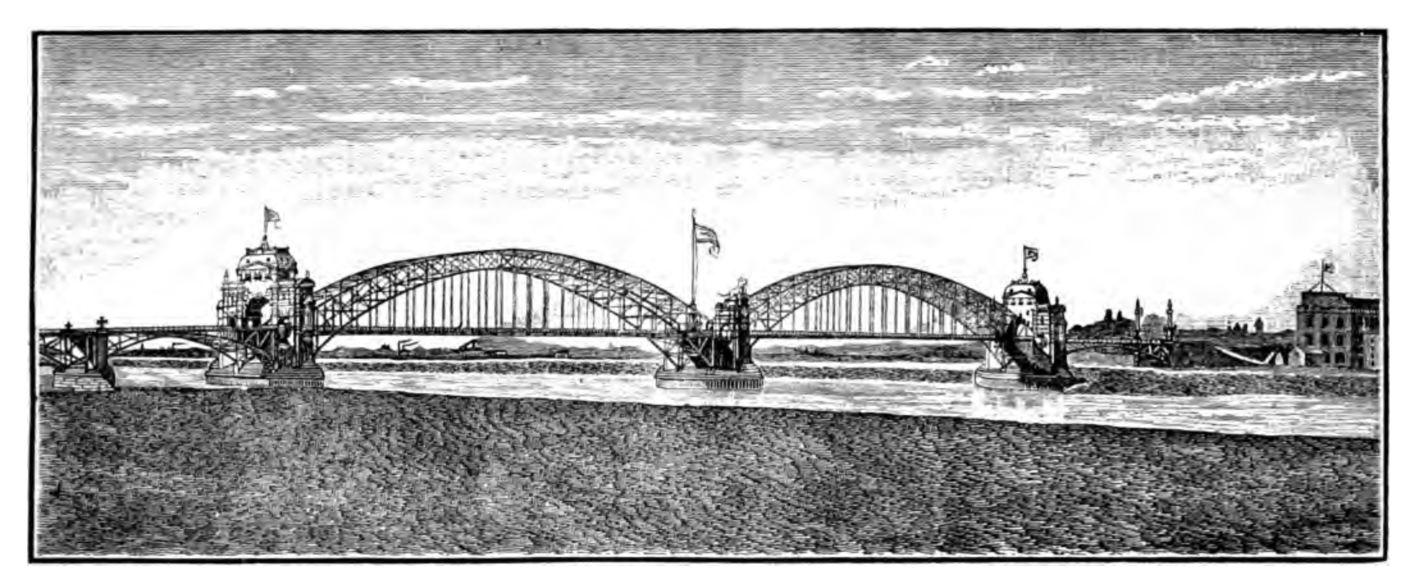


Fig. 35. Rheinbrücke bei Düsseldorf.



Fig. 34. Rheinbrücke bei Bonn.

VIII.

Es würde einseitig sein, die Erfolge der Brückenbaukunst allein den bei der Ausbildung und Herstellung der

[1]) S. Schweiz. Bauztg. 1898 Bd. XXXI Nr. 3 und 4. Zeitschr. des Vereins deutsch. Ing. 1897 Bd. XXXXI Nr. 47, 49, 50.

[1]) Die feierliche Eröffnung der Düsseldorfer Brücke fand am 12. Nov. und diejenige der Bonner Brücke am 17. Dez. d. J. statt.

[2]) Die Gesellschaft Batignolles in Paris hat zur Zeit mit dem Bau einer *Thalbrücke über den Viaur-Fluss* in der Eisenbahnlinie Carmaux-Rodez angefangen, deren grösste Weite 220 *m* betragen wird, bei 117 *m* Höhe. (S. Schweiz. Bauztg. 1890 Bd. 15 S. 59.)

Fig. 36. **Adda-Thalbrücke bei Paderno.**

Ansicht.

Grundriss.

1 : 1200.

Fig. 37 und 38. **Thalbrücke bei Müngsten. — Aufstellung der Eisenkonstruktion.**

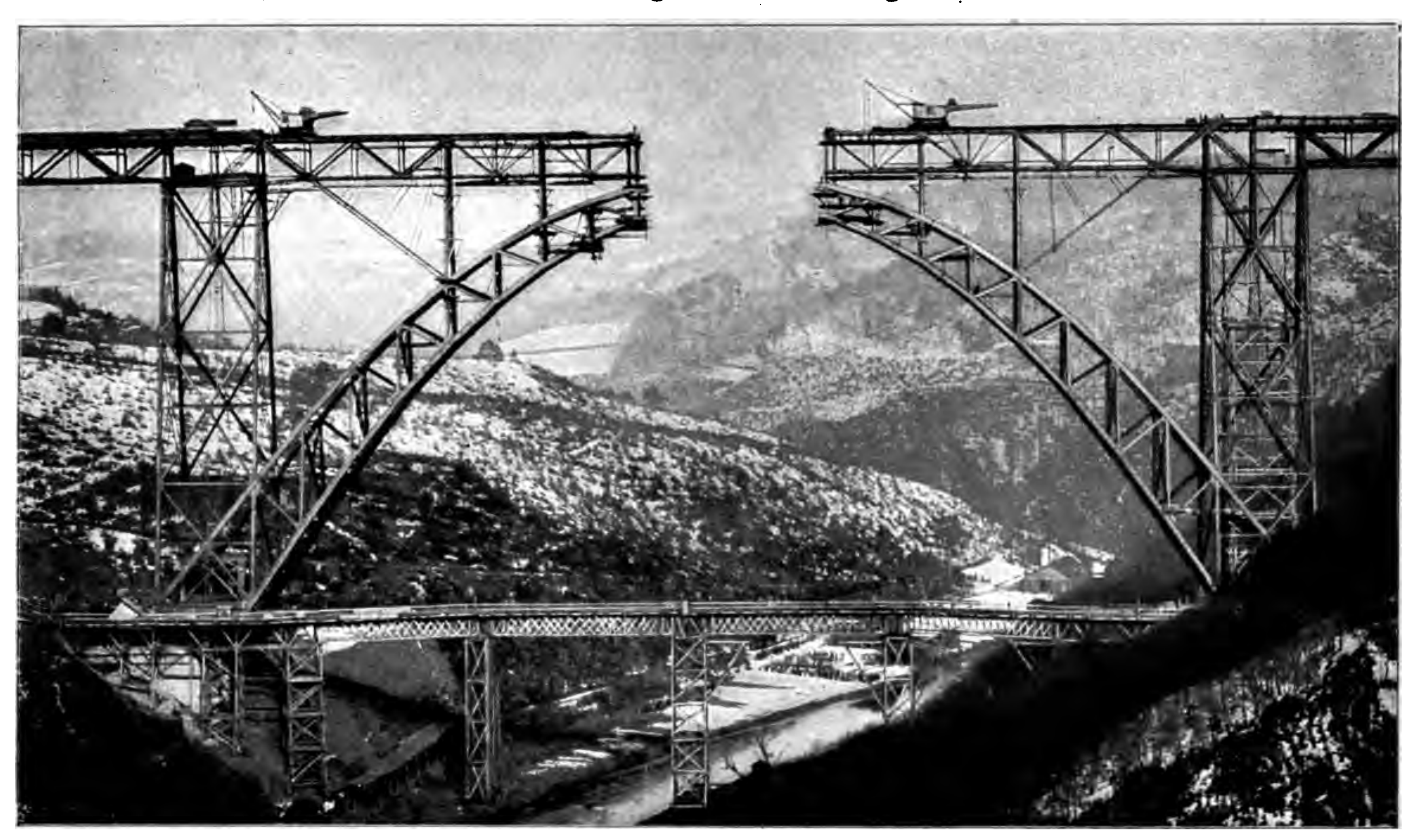






Fig. 39. **Thalbrücke bei Müngsten.**

Tragwerke oder Ueberbauten gemachten Fortschritten zuzuschreiben. Denn nicht allein die Weite der Ströme und Meeresarme, sondern auch die Wassertiefe spielt bei der Frage ihrer Ueberbrückung eine bedeutende Rolle. Darum haben die Fortschritte im Steinbau und im Eisenbau den Fortschritten in der Gründung und dem Bau der Pfeiler folgen müssen.

Zu Ende des 6. Jahrzehnts stand die beim Kehler Rheinbrückenbau unter Anwendung von Pressluft erzielte Gründungstiefe von 20 *m* unter Wasser unübertroffen da, und zu Anfang des 7. Jahrzehnts war man mit Hülfe der gleichen Gründungsart auf 31 *m* Tiefe gekommen. Dabei ist die Gründungskunst aber noch nicht stehen geblieben. Das beweisen die beim Brückenbau der letzten beiden Jahrzehnte, und dabei ohne Anwendung von Pressluft, nur mit Hilfe offener, nach der Versenkung mit Beton gefüllter Holzkästen erreichten Tiefen von 36 *m* (bei der Poughkeepsie-Brücke) und selbst von 54 *m* bei der australischen Hawkesbury-Brücke. Bei dem künftigen Bau der North-River-Brücke in New-York wird der Felsgrund für die Türme auf der New-York-Seite sogar erst in 58 *m* Tiefe unter Wasser zu erreichen sein.

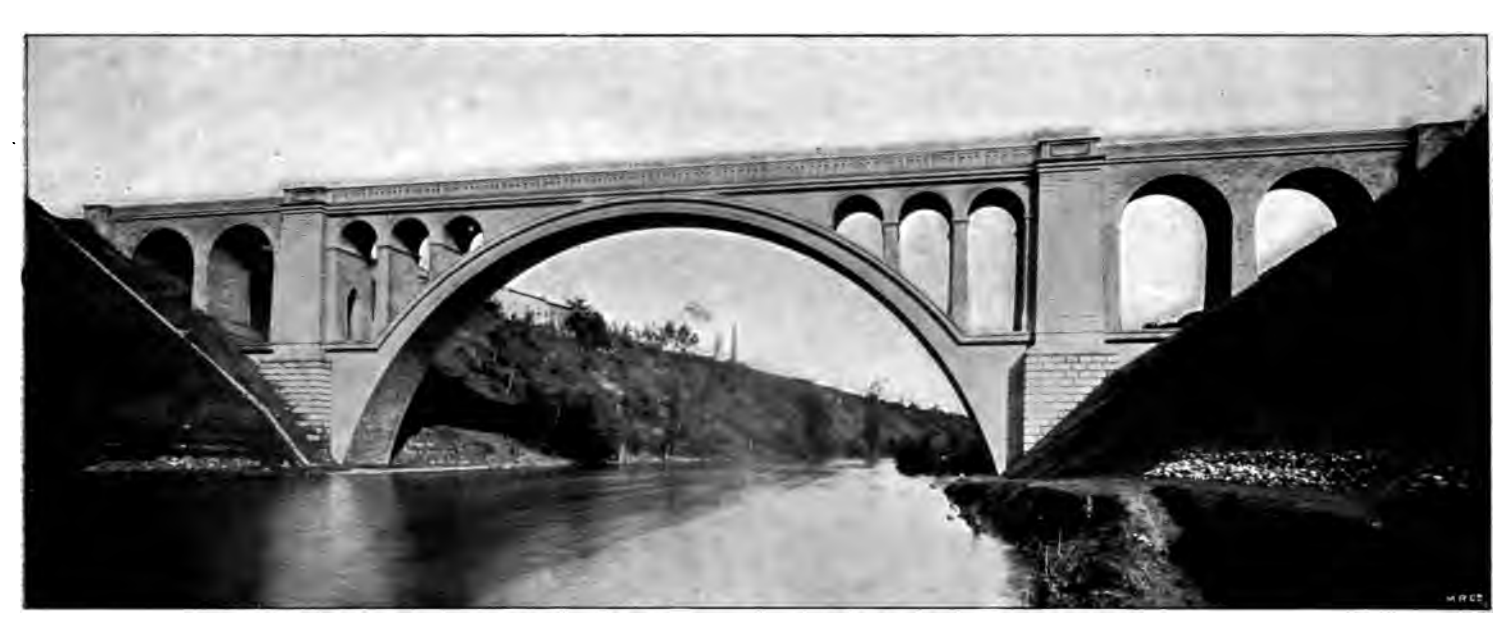


Fig. 40. Lavaur-Brücke der Linie Montauban-Castres.

Die Fortschritte auf dem Gebiete der Gründungskunst sind zwar in erster Linie dem Eisenbau **zu gute** gekommen, aber dadurch ist der *Bau der Steinbrücken* durchaus nicht etwa zurückgedrängt worden. Das wäre auch nur zu beklagen gewesen. Denn in Bezug auf die *Dauer* kann es das Eisen dem Stein nicht gleich thun. Dies sollten alle Diejenigen bedenken, die einmal zwischen „Stein“ und „Eisen“ die Wahl haben. Sicherlich werden heute an manchen Stellen noch eiserne Brücken ausgeführt, wo besser steinerne am Platze gewesen wären.



Fig. 41. Brücke von Castelet bei Ax, Linie Tarascon-Ax.

Der Steinbrückenbau hat es gegenwärtig in Mitteleuropa zu einer Höhe gebracht, wie nie zuvor. Als Ge-

wölbematerial sind, unter Frankreichs stetiger Führung, neben den massigen, sauber bearbeiteten, mit wenig Mörtel versetzten *Werksteinen*, mehr und mehr die kleinen, nur rauh behauenen *Bruchsteine* hochgekommen, deren Zusammenhang wesentlich durch den *Cementmörtel* erhalten wird. Die bedeutendsten Bruchsteingewölbe stellt man heute aus einzelnen *Ringen* her, wobei die Wölbsteine eines jeden Ringes — meist von verschiedenen *künstlichen Widerlagspunkten* aus rasch und trocken versetzt[1]) — nachträglich mit Cementmörtel ausgestampft oder vergossen werden. So sind einige neuere vollendet durchgeführte Gewölbe auf französischen und österreichischen Eisenbahnen entstanden. Die bedeutendsten darunter sind die 1882—84 erbauten Brücken der Strecke Montauban-Castres, in erster Linie:

Die 61,5 *m* weite *Lavaur-Brücke* (Fig. 40). In gleicher Art gebaut wurde auch die 41,2 *m* weite Brücke von Castelet über die Ariège bei Ax, Linie Tarascon-Ax (Fig. 41), sodann die Antoinette-Brücke bei Vielmur (Fig. 42) 50 *m* weit. Wie die Abbildungen (Fig. 40—42) erkennen lassen, giebt es wohl wenige grosse Steinbrücken, die sich in der Gediegenheit der Bauart und den harmonisch abgestimmten Umrissen diesen Brücken an die Seite stellen dürfen. Die *weitestgespannte, gewölbte Eisenbahnbrücke der Welt*, die Sie hier im Bilde sehen, ist die *Pruth-Brücke* bei *Jaremcze* in der Staatsbahnstrecke Stanislau-Woronienka in Galizien, mit 65 *m weiter Hauptöffnung* im Jahre 1893 vollendet (Fig. 43). Es giebt nur noch einen einzigen Steinbogen, der grössere Weite hat. Das ist der „*Bogen der Union*" der Cabin-John-Brücke in einer Wasserleitung bei Washington, mit fast 70 *m* Weite, aus dem Jahre 1866 (Fig. 44).

Als neueste Erscheinungen im Steinbrückenbau darf ich den *Stampfbeton* (mit oder ohne *Verstärkung durch Eiseneinlagen)* und das *Anbringen von Gelenken* im Gewölbe bezeichnen.



Fig. 42. Antoinette-Brücke bei Vielmur, Linie Montauban-Castres.



Fig. 43. Pruth-Brücke bei Jaremcze in Galizien.

[1]) In Ringen wölbten schon die alten Römer bei ihren Aquaedukten. Bei der Cloaca-Maxima sind drei Ringe in Anwendung gekommen. Soweit bekannt, wurde zuerst im Jahre 1788 ein Gewölbe an mehreren Stellen zugleich geschlossen, nämlich bei der Brücke von *Maligny* (26 *m* weit). *Gauthey*, S. 88.



Fig. 46. Stampfbeton-Brücke über die Donau bei Munderkingen.



Fig. 45. Stampfbeton-Brücke über die Donau bei Inzigkofen.

Während sonst (beim Werksteinbau) der Mörtel eine untergeordnete Rolle spielte, hängt jetzt der Bestand eines Gewölbes fast allein von der Güte der Cementmörtelverbindung ab, ganz gleich, ob das dabei verwendete Steinmaterial grösser oder kleiner ist, oder ob Eiseneinlagen dabei verwendet werden.

Lange hat man berechtigte Zweifel darüber gehegt, ob Gewölbe aus Stampfbeton solide genug seien. Nachdem aber die jüngst veröffentlichten, auf das sorgfältigste vorbereiteten und geleiteten Belastungsversuche österreichischer Fachmänner [1]) die Ueberlegenheit des Stampfbeton-Gewölbes gegenüber dem Cement-Bruchsteingewölbe nachgewiesen haben, hat der Stampfbetonbau mit Recht die verdiente Beachtung der gesamten Fachwelt gefunden.

Ich sagte schon, dass ich kein Freund von Gelenken bei kleineren Eisenbrücken bin. Bei Steingewölben ist nun zwar die Einfügung von Gelenken von Vorteil bei der Einwölbung, auch wäre gegen ihr Verbleiben im Betriebe hier weniger einzuwenden, als bei den eisernen Brücken, weil das

[1]) Oesterr. Zeitschrift 1895, Nr. 20—27.



Fig. 44. Bogen der Union im Cabin-John-Aquädukt bei Washington.

